

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

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



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 1(31)***

Чернігів 2023

Друкується за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 4 від 27.03.2023 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 (зі змінами від 09.02.2021 № 157), відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

**Технічні науки та технології** : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – № 1(31). – 172 с.

У журналі 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;

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

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

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

Сіра Н. М., кандидат технічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

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 С. 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»;

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

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

Вінніков Д., доктор технічних наук, професор, Таллінський університет технологій (Естонія);

Волков І. В., доктор технічних наук, професор, Інститут електродинаміки НАН України;

Галкін І., доктор технічних наук, професор, Ризький технічний університет (Латвія);

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»;

Ромеро-Кадавал Е., доктор технічних наук, професор, Університет Естремадури (Іспанія);

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

Хімічні та харчові технології

Антонюк І. Ю., кандидат технічних наук, доцент, Державний торговельно-економічний університет;

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

Гуменюк О. Л., кандидат хімічних наук, доцент, НУ «Чернігівська політехніка»;

Дударев І. М., доктор технічних наук, професор, НУ «Чернігівська політехніка»;

Звірко О. І., доктор технічних наук, професор, Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України;

Плаван В. П., доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну;

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;

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

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(31)***

Chernihiv 2023

UDC 62:67.05

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv Polytechnic National University (protocol № 4 dated 27.03.2023). 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 (as amended from February 9, 2021 № 157), according to which magazine is assigned a category «B».

**Technical sciences and technologies** : scientific journal / Chernihiv Polytechnic National University. – Chernihiv : Chernihiv Polytechnic National University, 2023. – № 1(31). – 172 p.

This journal 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;

Dmytriiiv 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;

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

Sira N.M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National 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 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»;

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

Vinnikov D., Doctor of Science, Senior Researcher, Head of Power Electronics R&D Group, Tallinn University of Technology, Tallinn, Estonia;

Volkov I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine;

Galkin I., Doctor of Science, Professor, Riga Technical University, Riga, Latvia;

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;

Romero-Cadaval E., Doctor of Science, Professor, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

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

Chemical and food technologies

Antoniuk I.Yu., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, State University of Trade and Economics;

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

Gumeniuk O.L., PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Dudarev I.M., Doctor of Technical Science, Professor, Chernihiv Polytechnic National University;

Zvirko O.I., Doctor of Technical Sciences, Professor, Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine;

Plavan V.P., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Technologies and Design;

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 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»;

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

Cheliabiieva 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;

Paliyansia 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;

Tereshchuk O.I., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv Polytechnic National University

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



## ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Кальченко В., Кальченко В., Венжега В., Машиковцев Д.</i> Аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного валу та круга .....	7
<i>Пилипенко О.</i> Безпека польотів вертольотів типу Мі-8 та їх модифікацій .....	14
<i>Сахно Є.</i> Використання струменевих технологій для силового впливу на вал гідростатичного підшипника.....	21
<i>Кондрашев П.</i> Вплив магнітного поля на якість внутрішньої мікроструктури при лазерному сплавленні порошку.....	29
<i>Ланковський С., Данилова Л., Фролов В., Приходько В., Гладський М., Адаменко Ю.</i> Технологічні особливості виконання операцій плунжерного фрезерування.....	36
<i>Швець С.</i> Математична модель визначення подачі і швидкості різання .....	46
<i>Дубініна О., Медведєв В.</i> Обґрунтування вибору форми індуктора для магнітно-імпульсної обробки великогабаритного зубчастого колеса.....	52

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Полярус О., Чепусенко Є., Бабаєва А.</i> Оцінка особливостей багатовимірних випадкових процесів на основі їхніх візуальних образів .....	61
<i>Хуторна М., Чередніков О., Пантелєєва Н., Андрієнко О.</i> Інформаційна модель випробувань дослідних зразків льотно-технічного обмундирування.....	68
<i>Гумен М., Куцевський Д.</i> Система виявлення проникнень на базі UWB-технології.....	80
<i>Макоєдова В.</i> Інформатизація процесів вступної кампанії в закладах вищої освіти .....	90
<i>Руднев Д., Акименко А.</i> Інформаційна технологія оцінки якості знань фахівців в ІТ-галузі .....	98

## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Дітріх І.</i> Використання гарбуза при виробництві котлет рибних дитячих .....	105
<i>Філінська Т., Шевченко В., Філінська А., Павлюк С., Суха І.</i> Дослідження властивостей багатокомпонентних сумішей борошна .....	117

## РОЗДІЛ IV. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Денисов Ю., Болотов Г., Куц Є.</i> Однократно інтегруюча система електропривода постійного струму для запуску газотурбінного двигуна вертольота.....	126
<i>Разживін О., Люта А., Марков О., Картамішев Д., Мирошніченко В., Ільїнський М.</i> Моделювання та удосконалення сенсорної мережі системи обліку споживання енергетичних ресурсів у мікрорайоні.....	138

## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

<i>Беспалько Р., Гуцул Т., Казімір І., Мирончук К.</i> Сучасні підходи до оцінювання черговості гуманітарного розмінування територій.....	146
<i>Бердник О., Виговський С., Ларченко О., Виговська К.</i> Використання відходів скляного бою в бетонному виробництві.....	158
<i>Коломієць А., Котовський О.</i> Утворення об'ємної форми паковань тунельним методом: обладнання і шляхи удосконалення.....	163

<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ СТАТЕЙ .....</b>	<b>171</b>
--	------------

**CONTENT**

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

*Kalchenko V., Kalchenko V., Venzheha V., Mashkovtsev D.* Analysis of grinding methods with crossed axes of the camshaft and abrasive wheel .....7

*Pilipenko O.* flight safety of mi-8 helicopters and their modifications .....14

*Sakhno Ye.* Use of jet technologies for force action on the shaft of a hydrostatic bearing .....21

*Kondrashev P.* Influence of the magnetic field on the quality of internal microstructure during laser fusion of powder .....29

*Lapkovsky S., Danylova L., Frolov V., Prykhodko V., Gladskyi M., Adamenko Yu.* Technological features of realization of plunger milling operations .....36

*Shvets S.* Mathematical model for determining feed and cutting speed .....46

*Dubinina O., Medvedev V.* Justification of choice of inductor form for large gear magnetic-pulse processing .....52

**SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES**

*Poliarus O., Chepusenko Ye., Babayeva A.* Estimation of multidimensional random processes features based on their visual images .....61

*Khutorna M., Cherednikov O., Pantelieieva N., Andrienko O.* Information model of tests of experimental samples of flight technical suits .....68

*Humen M., Kushchevskiy D.* Penetration detection system based on uwb technology .....80

*Makoiedova V.* Informatization of introductory campaign processes in higher education institutions .....90

*Rudniev D., Akymenko A.* Information technology assessment of the quality of knowledge of specialists in the it industry .....98

**SECTION III. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES**

*Ditrikh I.* Use of pumpkin in the production of baby fish cutlets .....105

*Filinska T., Shevchenko V., Filinska A., Pavliuk S., Sukha I.* Study of the properties of multicomponent flour mixtures .....117

**SECTION IV. ENERGY, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS**

*Denisov Yu., Bolotov G., Kuts Ye.* One-time integrating dc electric drive system for launching a helicopter gas turbine engine .....126

*Razhyvin O., Liuta A., Markov O., Kartamyshev D., Miroshnichenko V., Ilinskyi M.* Simulation and improvement of sensor network of energy resources consumption accounting system in microdistrict .....138

**SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY**

*Bespalko R., Hutsul T., Kazimir I., Myronchuk K.* Modern approaches to assessing the priority of humanitarian demining .....146

*Berdnyk O., Vyhovskyi S., Larchenko O., Vyhovska K.* Use of waste float glass in concrete production .....158

*Kolomiüets A., Kotovskii O.* Volumetric forming of packagings using the tunnel method: equipment and ways of its improvement .....163

**BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION  
OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES .....171**

# РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)-7-13

УДК 621.923

**Володимир Кальченко<sup>1</sup>, Віталій Кальченко<sup>2</sup>,  
Володимир Венжега<sup>3</sup>, Дмитро Машковцев<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [yvkalchenko74@gmail.com](mailto:yvkalchenko74@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>. ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

<sup>2</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [kalchenkovi@gmail.com](mailto:kalchenkovi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9850-7875>. ResearcherID: [G-9477-2014](https://orcid.org/0000-0002-9850-7875)

<sup>3</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [yivenzhega@gmail.com](mailto:yivenzhega@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8857-349X>. ResearcherID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

<sup>4</sup>аспірант, асистент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [mashkovtsevdmitro@gmail.com](mailto:mashkovtsevdmitro@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5591-4789>. ResearcherID: [HZL-3455-2023](https://orcid.org/0009-0008-5591-4789)

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ШЛІФУВАННЯ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА ТА КРУГА

*Проведено аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного вала та абразивного круга, а також розглянуто верстати, на яких здійснюється зазначена обробка. У роботі проаналізовано наявні способи обробки розподільних валів, зокрема високошвидкісне шліфування та шліфування зі схрещеними осями деталі та абразивного круга, а також розглянуті питання тримірного геометричного моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення кулачків і шийок розподільних валів. Дослідження процесів шліфування зі схрещеними осями дасть змогу підвищити якість та точність обробки поверхонь розподільних валів.*

**Ключові слова:** шліфування; торці деталей; розподільний вал; кулачок розподільного валу; шліфування зі схрещеними осями.

Рис.: 7. Бібл.: 7.

**Актуальність теми.** Унаслідок зростаючої конкуренції на ринку машинобудування та автомобільного транспорту якість обробки деталей є важливим показником. Зокрема, актуальним завданням для науковців є модернізація процесів та якості обробки кулачків та шийок розподільних валів у машинобудуванні та автомобілебудуванні. Так, точно оброблені розподільні вали забезпечують безперебійну роботу двигунів автомобілів протягом тривалого пробігу.

**Постановка проблеми.** Для виготовлення високоточних поверхонь кулачків і шийок розподільних валів необхідно використовувати новітні способи обробки їхніх поверхонь. Одним із таких способів є шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі, яке забезпечує високі точність та продуктивність обробки. Оскільки процеси шліфування розподільних валів і верстати, на яких здійснюється їх обробка, постійно змінюються та модернізуються, виникає необхідність проведення їх аналізу з метою визначення ефективності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес шліфування розподільного валу досліджується багатьма науковцями. Так, у роботі [2] описується процес шліфування опорних кулачків розподільного вала орієнтованим інструментом за один установ.

У роботі [4] представлено методи дослідження для кількісного визначення вібрацій та відхилення від форми під час шліфування розподільного вала. Розроблені методи застосовані для дослідження впливу різних параметрів на вібрації при високошвидкісному шліфуванні розподільного вала.

Питання управління процесом шліфування, які виникають при виготовленні колінчастих валів, розглядаються у [5]. Проведене дослідження зосереджено на вимірюванні таких параметрів, як лінійність, паралельність, биття та співвісність відповідних механічних частин шліфувальних верстатів.

У публікації [6] представлено структуру верстата для шліфування розподільного вала та наведено порівняльний аналіз двох методів шліфування розподільного вала, визначено переваги моторизованого шпинделя, опорного підшипника, системи подачі.

У роботі [7] запропоновано модульне тривимірне геометричне моделювання інструментів, зняття припуску та формоутворення опорних шийок і кулачків розподільних валів. При цьому шліфування опорних шийок та кулачків розподільного вала виконується за один установ кругом зі схрещеними осями його й деталі.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Попри наявність великої кількості досліджень способів шліфування розподільних валів недостатня увага приділена темі дослідження способів шліфування розподільного вала зі схрещеними осями деталі та круга.

**Мета статті.** Головною метою статті є аналіз методів шліфування зі схрещеними осями розподільного вала та абразивного круга.

**Виклад основного матеріалу.** На Харківському верстатобудівному заводі [1] виготовляють спеціальні шліфувальні напівавтоматичні верстати з ЧПК (ХШЗ-57Ф2, ХШЗ-57Ф2-01, ХШЗ-57Ф2-02) (рис. 1, а), які призначені для обробки профілю кулачків розподільного вала.

За рахунок змінної швидкості обертання розподільного вала протягом одного оберту при шліфуванні забезпечується сталість об'єму металу, що знімається. Широкий діапазон швидкостей обертання заготовки та подачі шліфувального круга, можливість зупинки подачі на певний час дозволяє здійснювати різні цикли шліфування профілю кулачка.

Такі верстати доцільно використовувати для одиничного, серійного та масового виробництва, а також можна проводити послідовне врізне шліфування кулачків розподільного вала за напівавтоматичним циклом [1] (рис. 1, б).

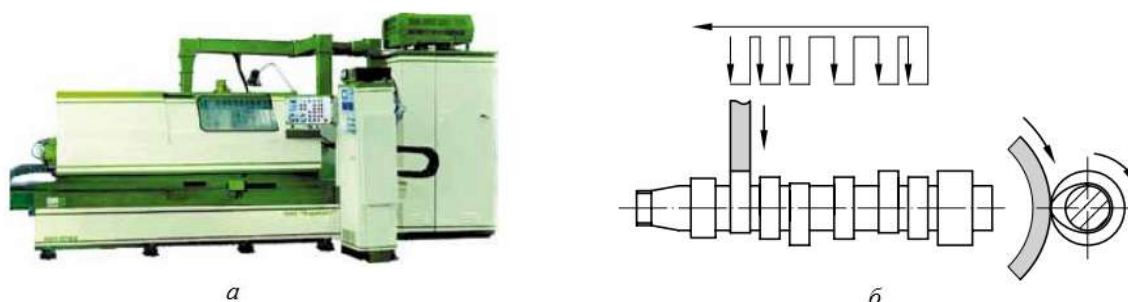


Рис. 1. Верстат для шліфування профілю кулачків розподільних валів (а);  
схема контакту заготовки та шліфувального круга (б)

У [2] пропонується здійснювати процес шліфування опорних кулачків розподільного вала орієнтованим інструментом за один установ, що підвищує точність та продуктивність обробки.

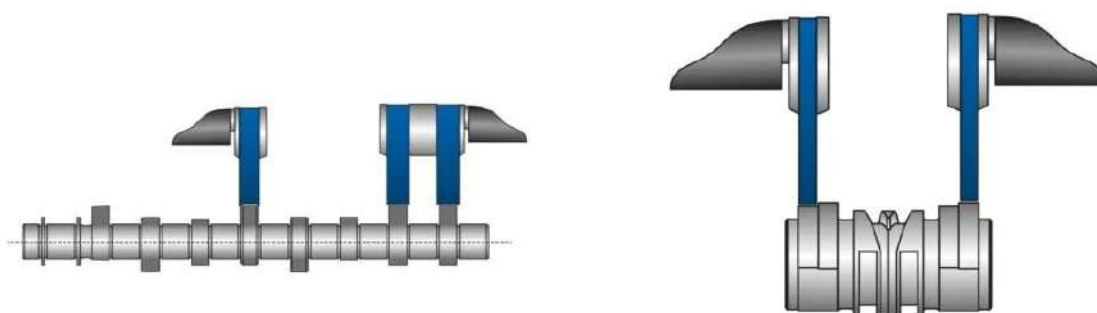
Фірма Junker (Германія) [3] виготовляє верстати для шліфування розподільних валів: JUCAM1000, JUCAM3000, JUCAM5000, JUCAM6S, JUCAM6L (рис. 2), JUCAM6XL, які здійснюють високоточну обробку поверхні кулачків розподільних валів. При нециліндричному зовнішньому шліфуванні шліфувальний круг повторює контур кулачка (рис. 3). У верстатах використовуються алмазні круги для високої продуктивності шліфування з незмінним рівнем якості та тривалим терміном служби.

У [4] проведені експериментальні дослідження вібрацій при високошвидкісному шліфуванні розподільного валу та їх вплив на точність обробленої поверхні. Визначено, що швидкість шліфування 120 м/с дає найнижчі вібрації, а при збільшенні глибини шліфування вібрації зростають. Отримані результати важливі при проектуванні технологічних систем.





*Рис. 2. Шліфувальний верстат JUCAM 6L*



*Рис. 3. Зовнішнє нециліндричне шліфування кулачків розподільного вала*

Робота [5] присвячена проблемам управління процесом шліфування, які виникають при виготовленні колінчастих валів. Під час дослідження вимірювались лінійність, паралельність, биття та співвісність відповідних механічних частин верстата. На основі отриманих результатів надані рекомендації з метою забезпечення стабільної якості виготовлених колінчастих валів. Приведені в роботі дослідження та методи можуть бути використані при шліфуванні розподільних валів.

Структуру верстата для шліфування розподільного вала представлено у [6]. У роботі також приведено порівняння емуляції шліфування та трасування дотичних точок шліфування розподільного вала для двох методів шліфування, визначено переваги моторизованого шпинделя, опорного підшипника, системи подачі та застосування шліфувального круга CBN для високошвидкісного шліфування. Представлено результати статичного та модального аналізу перевірки міцності каркаса шліфувального круга та оптимізації конструкції, що є важливою основою для подальшого удосконалення способів обробки.

Робота [7] присвячена питанням модульного тривимірного геометричного моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення опорних шийок та кулачків розподільних валів.

На рисунку 4 зображена схема глибинного шліфування зі схрещеними осями абразивного круга 2 та розподільного вала 1. При такому способі обробки торцем круга знімається чорновий припуск, а чистове шліфування виконується його периферією за рахунок повздовжнього переміщення.

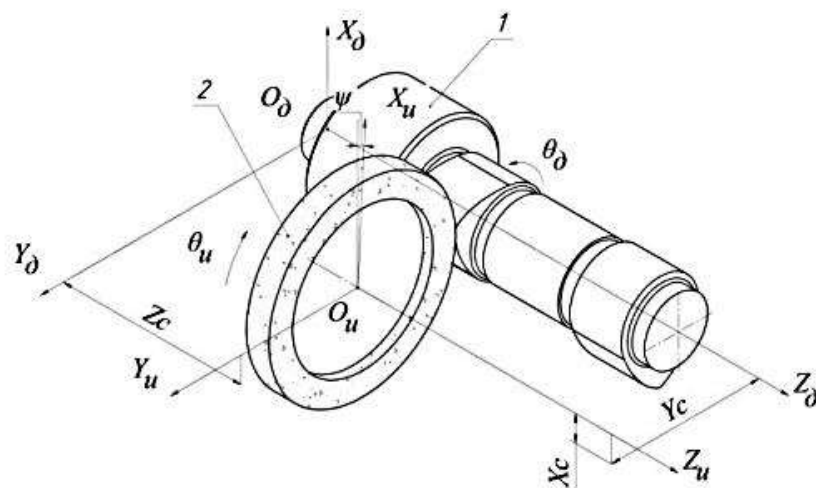


Рис. 4. Розрахункова схема шліфування розподільного вала 1 Розподільний вал 2 абразивний круг

При обертанні розподільного вала 1 на кут  $\Theta_d$  (рис. 5) точка контакту 3 круга 2 з деталлю 1 переміщується завдяки синхронним вертикальному й поперечному рухам  $S_u$  інструмента [7]. Точка контакту завжди знаходиться в горизонтальній площині, яка проходить через вісь обертання круга та центр кривизни деталі, що забезпечує постійну глибину різання по контуру. Нерівномірне обертання стабілізує подачу по контуру в порівнянні з методом обробки з рівномірним обертанням розподільного вала.

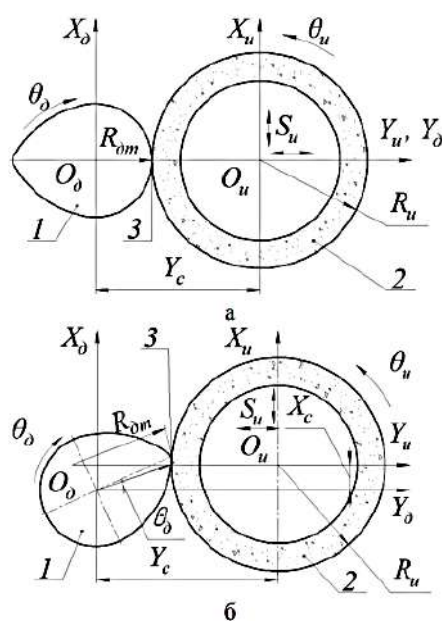
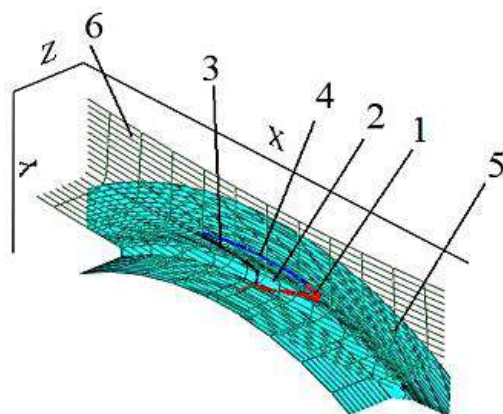


Рис. 5. Шліфування розподільного вала 1 – кулачок 2 – абразивний круг

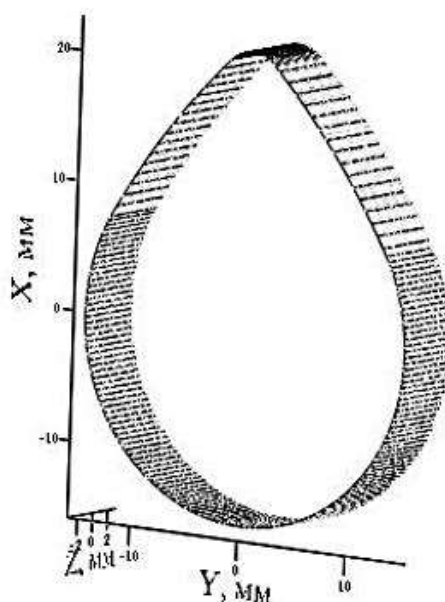
Цей спосіб дає можливість при шліфуванні поверхонь кулачків розподільних валів на верстатах із ЧПК враховувати форму деталі та не зважати на радіус інструмента. Завдяки цьому підвищується якість і продуктивність обробки поверхонь розподільного вала.

На рисунку 6 показана пляма контакту шліфувального круга 4 із розподільним валом 5, що обмежена лініями перетину 1, 2, 3 торця заготовки 5 і орієнтовного шліфувального круга 6 [7].



*Рис. 6. Пляма контакту розподільного валу зі шліфувальним кругом*

На рисунку 7 зображена 3D-модель кулачка розподільного валу, яка утворилася за рахунок переміщення лінії контакту по еквідистанті поверхні деталі [7].



*Рис. 7. 3D-модель кулачка розподільного вала*

Отримані у [7] моделі можуть бути використані при розробці нових та удосконаленні існуючих способів шліфування розподільних валів зі схрещеними осями інструмента та деталі.

**Висновки.** Розподільні вали є компонентами двигунів внутрішнього згорання, коробок перемикачів передач та інших вузлів автомобілів, тракторів тощо. Точність їх обробки визначає ресурс, продуктивність та надійність роботи. У роботі розглянуто способи шліфування розподільних валів.

Аналіз проведених досліджень та публікацій показав, що ефективним способом обробки розподільного валу є шліфування із схрещеними осями заготовки та абразивного круга. А при його застосуванні на верстатах із ЧПК підвищується точність та продуктивність обробки завдяки можливості виключення впливу радіуса інструмента.

**Список використаних джерел**

1. Шліфувальні верстати завод «Харверст». Харківський верстатобудівний завод «Харверст». – Харків, 20 с.
2. Шліфування розподільних валів кругами з CNB. Проспект фірми «Junker maschinen» на верстати «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. – Germany, 2006. – 8 с.
3. CAM GRINDING. Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCAM 1S», «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6XS», «JUCAM 6S», «JUCAM 6L», «JUCAM 6XL». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. – Germany, 2017. –12 p.
4. Experimental Analysis of Process Parameter Effects on Vibrations in the High-Speed Grinding of a Camshaft / Tao Liu, Zhaohui Deng, Lishu Lv, Shuailong She, Wei Liu, Chengyao Luo // *Strojniški vestnik – Journal of Mechanical Engineering*. – 2020. – Vol. 66(3). – Pp. 175-183.
5. Вивчення геометрії шліфувальних верстатів, які використовуються для обробки великогабаритних колінчастих валів / З. Сементковській, М. Руцький, Д. Морозов, Р. Мартиновський, О. Свентокшиський, О. Шелковий, Ю. Гуцаленко // *Різання та інструмент в технологічних системах*. – 2019. – Вип. 91. – С. 207-219.
6. Summary of the Camshaft Grinding Machine and the Finite Element Analysis of grinding wheel rack frame Jinwei Fan, Hongliang Wang and Lanqing Zhang, 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology (MMECEB 2015).
7. Кальченко В. І. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного валу і круга / В. І. Кальченко, Д. В. Кальченко, О. С. Следнікова // *Різання та інструмент в технологічних системах*. – 2015. – Вип. 85. – С. 98–106.

**References**

1. Grinding machines “Harverst” plant. Kharkiv Machine Building Plant “Harverst”. Kharkiv.
2. Grinding of camshafts with cubic boron nitride wheels. Prospectus of the company "Junker maschinen" for machines “JUCAM 1000”, “JUCAM 3000”, “JUCAM 5000”, “JUCAM 6000”. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. (2006). Germany.
3. CAM GRINDING. Prospect firm “Junker maschinen” on machines “JUCAM 1S”, “JUCAM 1000”, “JUCAM 3000”, “JUCAM 5000”, “JUCAM 6XS”, “JUCAM 6S”, “JUCAM 6L”, “JUCAM 6XL”. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. (2017). Germany.
4. Tao Liu, Zhaohui Deng, Lishu Lv, Shuailong She, Wei Liu, Chengyao Luo. (2020). Experimental Analysis of Process Parameter Effects on Vibrations in the High-Speed Grinding of a Camshaft. *Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering*, 66(3), 175-183.
5. Sementkovskii, Z., Rutskyi, M., Morozov, D., Martynovskyi, R., Sventokshyskyi, O., Shelkovyi, O., & Hutsalenko, Yu. (2019). Vyvchennia heometrii shlifivalnykh verstativ, yaki vykorystovuiutsia dlia obrobky velykohabarynykh kolinchastykh valiv [Study of the geometry of grinding machines used for large scale crankshaft machining]. *Rizannia ta instrument v tekhnolohichnykh systemakh – Cutting and tools in technological systems*, 91, 207-219.
6. Summary of the Camshaft Grinding Machine and the Finite Element Analysis of grinding wheel rack frame Jinwei Fan, Hongliang Wang and Lanqing Zhang, 2nd International Conference on Machinery, Materials Engineering, Chemical Engineering and Biotechnology (MMECEB 2015).
7. Kalchenko, V.I., Kalchenko, D.V., & Slednikova, O.S. (2015). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia prypusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy rozpodilnoho valu i kruha [Modular 3D-modeling of tools, the process of allowance removal and forming during grinding with crossed axes of the camshaft and wheel]. *Rizannia ta instrument v tekhnolohichnykh systemakh – Cutting and tools in technological systems*, 85, 98–106.

Отримано 15.03.2023

**Volodymyr Kalchenko<sup>1</sup>, Vitaliy Kalchenko<sup>2</sup>, Volodymyr Venzheha<sup>3</sup>, Dmytro Mashkovtsev<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [yvkalchenko74@gmail.com](mailto:yvkalchenko74@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9072-2976>. ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/G-6752-2014)

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automobile Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [kalchenkovi@gmail.com](mailto:kalchenkovi@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9850-7875>. ResearcherID: [G-9477-2014](https://orcid.org/G-9477-2014)

<sup>3</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Motor Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [vivenzhega@gmail.com](mailto:vivenzhega@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8857-349X>. ResearcherID: [H-3560-2014](https://orcid.org/H-3560-2014)

<sup>4</sup>Postgraduate, assistant at the Department of Motor Transport and Industrial Mechanical Engineering, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [mashkovtsevdmitro@gmail.com](mailto:mashkovtsevdmitro@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-5591-4789>. ResearcherID: [HZL-3455-2023](https://orcid.org/HZL-3455-2023)

## ANALYSIS OF GRINDING METHODS WITH CROSSED AXES OF THE CAMSHAFT AND ABRASIVE WHEEL

*An analysis of the methods of grinding camshafts with crossed axes was carried out. The camshaft is the main part of the engines and gearboxes of motor transport, therefore the reliability, correctness and durability of the assembly depends on the accuracy of their manufacture. Therefore, for the manufacture of camshafts, there is a need for high-precision specialized machines for their processing. As a result of the influence of the accuracy of processing camshafts on their competitiveness in the market, there is a need to improve and modernize their processing.*

*This article provides an overview of modern machines for grinding the surfaces of camshafts, in particular machines of the Kharkiv Machine Building Plant and Junker (Germany). An overview of publications devoted to the issue of surface treatment of camshafts and crankshafts is also given. In particular, the study of the process of grinding the camshaft with an approximate tool for one institution, the characteristics and waviness of vibrations during grinding, the problems of managing the grinding process and the measurement of parameters affecting the grinding process are considered. An analysis of the existing modular three-dimensional geometric modeling of tools, the processes of removing the allowance and forming the support necks of the camshafts during grinding in one facility with crossed axes of the tool and the part was carried out. The advantage of this method is the ability to take into account the shape of the part and not take into account the radius of the tool when grinding the surfaces of camshaft cams on CNC machines. This increases the quality and productivity of camshaft surface treatment.*

**Keywords:** grinding; ends of parts; camshaft; camshaft cam; grinding with crossed axes.

Fig.: 7. References: 7.

**Олег Пилипенко**

доктор технічних наук, професор

Державний науково-дослідний інститут випробувань  
і сертифікації озброєння та військової техніки (Чернігів, Україна)E-mail: [opilip@ukr.net](mailto:opilip@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0590-0107>. ResearcherID: [G-2533-2016](https://orcid.org/0000-0003-0590-0107)**БЕЗПЕКА ПОЛЬОТІВ ВЕРТОЛЬОТІВ ТИПУ Мі-8 ТА ЇХ МОДИФІКАЦІЙ**

*Стаття є оглядово-інформаційною. Наведені статистичні дані безпеки польотів вертольотів типу Мі-8 за період з 1996 по 2011 рр., кількість інцидентів і годин нальоту та їх розподіл за 2015-2019 роки. Показана кількість інцидентів, пов'язаних із головним редуктором і спрацьовуванням пожежної сигналізації.*

**Ключові слова:** вертольоти типу Мі-8, безпека польотів.

*Рис.: 3. Табл.: 5. Бібл.: 11.*

**Актуальність теми дослідження.** Парк вертольотів експлуатується нині згідно з ресурсом, зумовленим їхнім технічним станом. Тому актуальним є завдання дослідження даних щодо безпеки польотів, технічного стану редукторів вертольотів.

**Постановка проблеми.** Безпека польотів – стан авіаційної системи, який підтримується шляхом безперервного процесу виявлення джерел небезпеки, їх усунення та контролю за факторами ризику [1].

Безпека польотів при застосуванні стратегії технічного обслуговування за напрацюванням забезпечується призначенням ресурсів (термінів служби) [2] до капітального ремонту і між капітальними ремонтами, у межах яких забезпечується висока ймовірність безвідмовності експлуатації повітряних суден (ПС).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Мі-8 – багатоцільовий вертоліт, який є наймасовішим вертольотом у світі з двома двигунами. Широко використовується в багатьох країнах світу для виконання великої кількості цивільних і військових завдань. Як відомо [3], на початок 2014-го року 91 % вертольотів ПС ЗСУ, виготовлені ще за радянських часів, мали терміни експлуатації понад 20 років і об'єктивно потребували оновлення. 45 % вертолітного парку України станом на 2019 рік мали вік до 30 років.

За даними Flight Global [4], Україна станом на початок 2022 року мала на озброєнні 54 вертольоти Мі-8 та його модифікації (Мі-8МТВ-1, Мі-8Т, Мі-8МСБ), що становить 24 % від загальної кількості вертольотів різних марок. Вертольоти типу Мі-8Т уже досягли віку понад 40 років. За інформацією розробника, на сьогодні орієнтовний термін експлуатації вертольотів типу Мі-8, Мі-24 становить до 45 років [5].

Аналіз парку літальних апаратів (ЛА) авіації ЗСУ свідчить [5], що через вичерпання попередньо встановлених строків служби і ресурсів (до першого ремонту, міжремонтних, призначених) більшість ЛА перебуває в несправному стані. Водночас дослідження конструктивних особливостей побудови ЛА військового призначення довели, що планери літаків та вертольотів мають більший запас довговічності порівняно з розрахованими під час їх проектування ресурсними показниками (як за строком служби, так і за напрацюванням).

Досвід розвинених авіаційних держав також свідчить, що на сьогодні основу бойового парку військової авіації провідних країн світу продовжують становити ЛА, виготовлені до початку 90-х рр. При цьому їх співвідношення до загального парку становить від 43 % у військово-повітряних силах США й до 100 % – країн Європи (Нідерландів, Бельгії, Португалії). ЛА, які перебувають на озброєнні ЗСУ, за своїми льотно-технічними характеристиками на сьогодні загалом відповідають сучасним світовим зразкам, але суттєво поступаються за бойовими та функціональними можливостями.

Проте в середньостроковій перспективі [6], з огляду на обставини, що склалися, Україна змушена обмежуватися підтриманням у боєздатному стані наявного парку, передусім вертольотів радянського виробництва за умов їх глибокої модернізації, яка має забезпечити багатofункціональність і необхідний захист, підвищення безпеки польотів та бойової витривалості, уніфікацію бортового обладнання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Є нагальна потреба у висвітленні питань безпеки польотів залежно від напрацювання на інцидент, ризиків смертельних травм, інцидентів, пов'язаних зі спрацюванням систем сигналізації пожежі і стружки у двигунах або трансмісії вертольотів. Особливої уваги заслуговують показники відносно великих і малих авіакомпаній, які експлуатують вертольоти типу Мі-8.

**Мета статті.** Дослідження наявних даних безпеки польотів вертольотів типу Мі-8 та технічного стану їхніх головних редукторів для їх подальшого прогнозування.

**Виклад основного матеріалу.** Статистика щодо безпеки польотів вертольотів типу Мі-8 за період з 1996 по 2010 рр. по п'ятирічках представлена в табл. 1, а за період з 2007 по 2011 рр. – у табл. 2 [7]. В обох таблицях К – кількість катастроф, А – аварій, І – інцидентів, РСТ – ризик смертельних травм.

Таблиця 1 – Статистика безпеки польотів вертольотів типу Мі-8 за період з 1996 по 2010 рр.

Тип ЛА	Період	Наліт (Н)	К	А	І	Наліт на 1 інц.	К-сть загиблих (З)	К-сть осіб на борту (Б)	К <sub>100000</sub>	РСТ	Наліт на 1 смерт. травму
Мі-8Т	1996-2000	736600	14	34	376	2000	84	504	1,9	$1,1 \cdot 10^{-5}$	90000
	2001-2005	1099400	8	22	321	3400	61	294	0,8	$0,56 \cdot 10^{-5}$	178000
	2006-2010	1359800	7	4	343	4000	35	106	0,5	$0,26 \cdot 10^{-5}$	385000

Таблиця 2 – Статистика безпеки польотів вертольотів типу Мі-8 за період з 2007 по 2011 рр.

Тип ЛА	Період	Наліт (Н)	К	А	І	Наліт на 1 інц.	К-сть загиблих (З)	К-сть осіб на борту (Б)	К <sub>100000</sub>	РСТ	Наліт на 1 смерт. травму
Мі-8Т	2007	309625	2	1	65	4763	12	17	0,65	$0,68 \cdot 10^{-5}$	147000
	2008	280980	1	-	77	3649	9	16	0,36	$0,2 \cdot 10^{-5}$	500000
	2009	235263	-	3	57	4127	0	14	-	-	-
	2010	271564	2	-	80	3395	7	28	0,74	$0,18 \cdot 10^{-5}$	556000
	2011	282193	3	3	47	6413	7	52	1,06	$0,29 \cdot 10^{-5}$	345000
Всього		1379625	8	7	326	4232	35	127	0,58	$0,30 \cdot 10^{-5}$	334000

Ризик смертельної травми (РСТ) за залежністю, відомою як формула Роя Фокса, начальника служби безпеки польотів Bell Helicopter [8]:

$$РСТ = З/Б \times (К+А)/Н = 84/504 \times (14+34)/736600 = 1,1 \times 10^{-5},$$

де З – кількість загиблих; Б – кількість людей на борту; К – катастрофи; А – аварії; Н – наліт, год.

Числові дані взяті з табл. 1 за 1996-2000 рр.

Показники безпеки для вертольотів типу Мі-8Т і Мі-8МТВ-1(АМТ) за два десятилітніх періоди представлені на графіку залежності коефіцієнта РСТ від напрацювання на інцидент (рис. 1) [9].

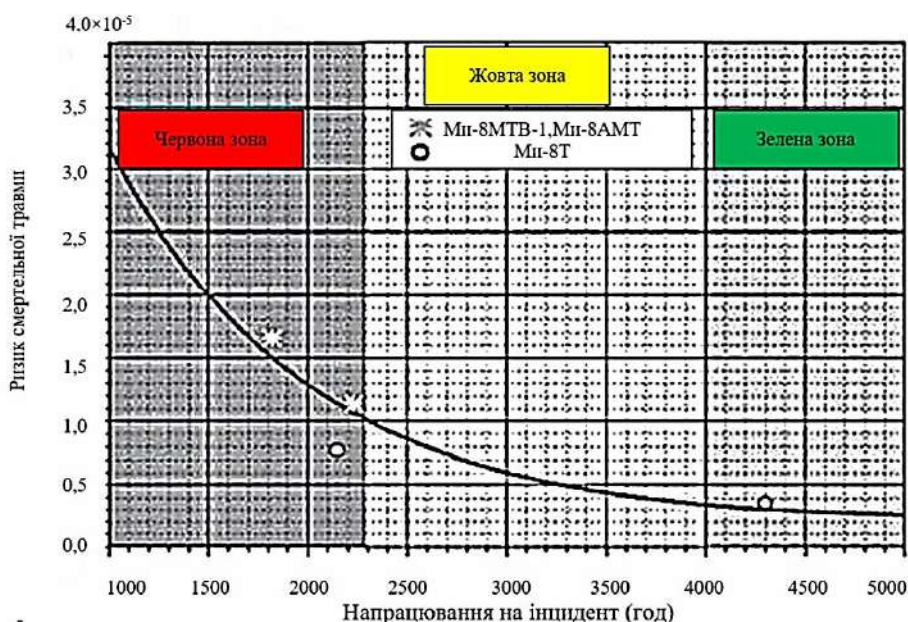


Рис. 1. Показники безпеки для вертольотів типу Мі-8Т і Мі-8МТВ-1(АМТ) за два десятиліття на графіку залежності коефіцієнта РСТ від напрацювання на інцидент

Як бачимо, РСТ змінюється від своїх максимальних значень при напрацюванні на інцидент 1000-2300 год (червона зона) через жовту зону при напрацюванні 2300-4000 год і досягає своїх мінімальних значень, починаючи з напрацювання в 4000 год (зелена зона). При цьому для вертольотів Мі-8Т рівень ризиків смертельних травм істотно менший, ніж для вертольотів Мі-8МТВ-1 та Мі-8АМТ.

У табл. 3 представлені показники відносно великих і малих авіакомпаній, які експлуатують вертольоти типу Мі-8 [7], з яких можна бачити, що кількість катастроф однакова як для великих, так і для малих авіакомпаній, хоча чисельність вертольотів останніх згідно з Реєстром і заявлених до експлуатації суттєво менше. Проте чисельність загиблих при майже однаковій чисельності людей на борту менше в малих авіакомпаній у 1,5 рази.

Таблиця 3 – Показники відносно великих і малих авіакомпаній, які експлуатують вертольоти типу Мі-8 та їх модифікацій [7]

№ п/п	Показник	Авіакомпанії	
		«Великі»	«Малі»
1.	Число а/к	22	63
2.	Число вертольотів у Реєстрі	552	348
3.	Число вертольотів, заявлених до експлуатації	417	190
4.	Наліт (Н), год.	$911,4 \cdot 10^3$	$468,2 \cdot 10^3$
5.	Число катастроф (К)	4	4
6.	Число аварій (А)	4	3
7.	Число інцидентів (І)	188	138
8.	Число загиблих (З)	21	14
9.	Число людей на борту (Б)	63	64
10.	Наліт на 1 інцидент (Н/І)	4850	3500
11.	Число інцидентів на 1 катастрофу	47	35
12.	$K_{100000}$	0,44	0,85
13.	Ризик смертельної травми (РСТ)	$0,29 \cdot 10^{-5}$	$0,33 \cdot 10^{-5}$
14.	Наліт на 1 смертельну травму	345000	303000

Тут ще треба додати, що середня тривалість польоту складала 45 хв.

З 1994 по 2013 рік на вертольотах типу Мі-8Т у цивільній авіації було зафіксовано 1397 інцидентів, на вертольотах типу Мі-8МТВ-1(АМТ) – 388. Розподіл цих інцидентів у відсотках від загальної кількості (виключаючи пошкодження повітряного судна, електро- і гідросистеми, обладнання зв'язку і т. ін.) по категоріях представлений в табл. 4 [9].



Таблиця 4 – Розподіл інцидентів (% від загальної кількості)

Категорія	Тип вертольота	
	Мі-8Т	Мі-8МТВ-1(АМТ)
Двигун	25	20
Головний редуктор	10	15
Пожежа	10	12

Інциденти, пов'язані зі спрацюванням систем сигналізації пожежі і стружки у двигунах або трансмісії, посідають особливе місце в загальній кількості інцидентів. Їх кількість становить приблизно 25 %, при цьому майже половина з них (близько 49 %) – це помилкові спрацювання цих систем. Статистичні дані щодо таких інцидентів приведені в табл. 5 [9].

Таблиця 5 – Статистичні дані щодо інцидентів, пов'язаних зі спрацюванням систем сигналізації пожежі і стружки у двигунах або трансмісії (в дужках – відсоток від загальної кількості)

Тип вертольоту	Спрацювання систем сигналізації					
	Пожежа		Стружка		Пожежа + Стружка	
	Всього	Помилкових	Всього	Помилкових	Всього	Помилкових
Мі-8Т	129	107 (83%)	186	35 (19%)	315	142 (45%)
Мі-8МТВ-1(АМТ)	50	36 (72%)	72	36 (50%)	122	72 (59%)
Всього	179	143 (80%)	258	71(28%)	437	214 (49%)

Основною причиною інцидентів, пов'язаних зі спрацюванням системи сигналізації пожежі в районі двигунів і головного редуктора, виявилася недостатня герметичність блоків ССП і ПС. У 2004 р. розроблено додатковий захист від впливу вологи, і цю причину було усунуто. Якщо напрацювання на такий інцидент за період з 1994 по 2004 роки становило для вертольотів типу Мі-8Т – 35 000 годин, а для вертольотів типу Мі-8МТВ-1 (АМТ) – 15 000 годин, то за період 2005-2013 рр. ці показники виросли до 54 000 годин і 37 000 годин відповідно [9].

На елементи конструкції силової установки припадає 37 % від загальної кількості інцидентів (59 % від числа інцидентів, пов'язаних з відмовами авіаційної техніки) (табл. 2 [10]). З них 38 % викликано помилковим спрацюванням сигналізаторів наявності стружки в головному та хвостовому редукторах через конструктивний недолік сигналізатора стружки ПС-1. З метою зменшення подібних інцидентів розроблено удосконалений сигналізатор стружки ПС-2, який пройшов успішні випробування і впроваджується в конструкціях вертольотів типу Мі-8 та їх модифікацій.

Відповідно до графіка кількості та розподілу інцидентів за роками (рис. 5) у відношенні до годин нальоту (дані на березень 2019 р. по Україні), на фоні сталого зростання годин нальоту, тенденцію зміни кількості інцидентів з 2014 року неможливо простежити, оскільки показники абсолютної кількості подій постійно змінюються і значно відрізняються один від одного щороку у протилежних напрямках. Такі показники не корелюються з тенденцією до зростання кількості обсягу нальоту (усереднений показник – збільшення на 6 % щороку), що імовірно вказує на недосконалість системи обов'язкових сповіщень про інциденти та відсутність в Україні системи повідомлень про події [11]. Як бачимо з рис. 2, кількість інцидентів має коливний характер і має тенденцію до зниження. На рис. 3 показана вірогідність виникнення інциденту на 1 год польоту для вертольотів Мі-8, яка виявляється меншою, ніж у представлених на графіку літаків.

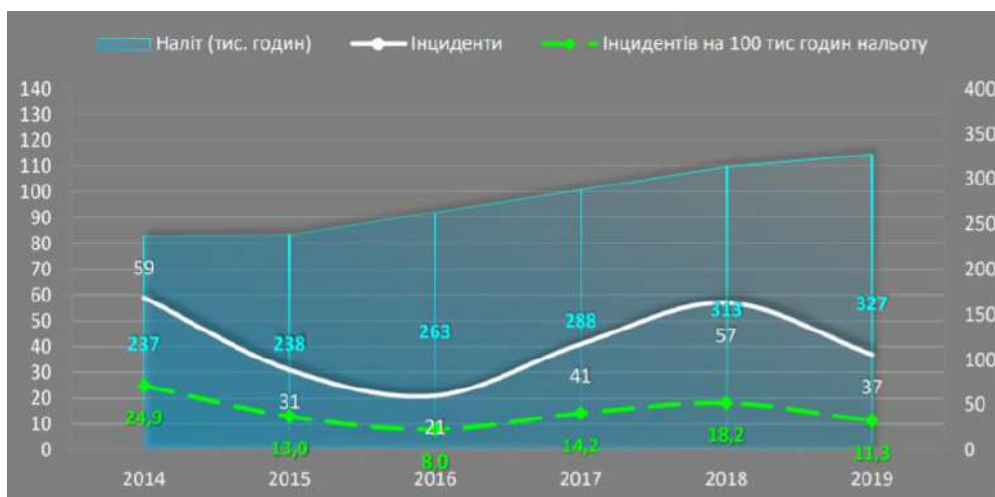


Рис. 2. Кількість інцидентів та годин нальоту по роках\* [11]

\* Не враховує ПС авіації загального призначення (АЗП), оскільки інформація про наліт ПС АЗП відсутня.

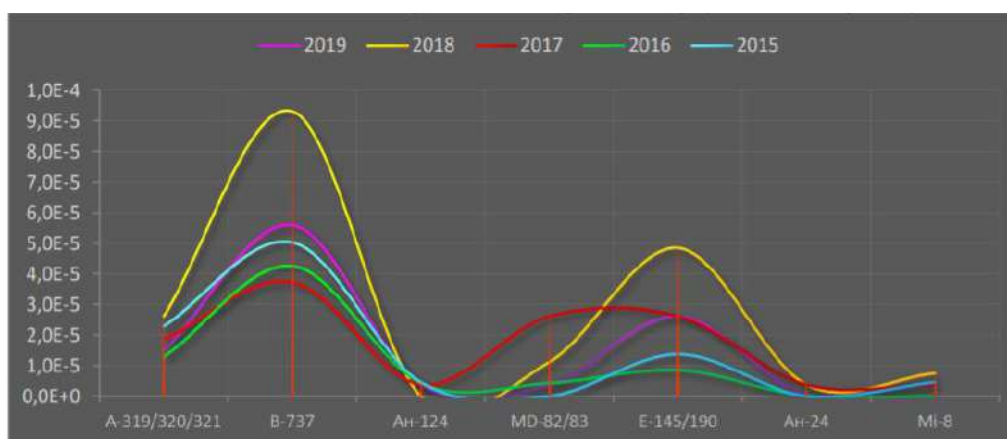


Рис. 3. Розподіл інцидентів за найбільш експлуатованими типами повітряних суден (вірогідність виникнення інциденту за 1 годину польоту в 2014-2018 роках) [11]

\* Дані розраховано на основі інформації, що надійшла до НБРЦА протягом 2015-2019 років. На графіку порівнюється один тип ПС за роками, а не типи ПС між собою.

ПС – повітряне судно; НБРЦА – Національне Бюро з Розслідування цивільної авіації.

**Висновки.** Наведені статистичні дані безпеки польотів вертольотів типу Мі-8 за період з 1996 по 2011 рр., кількість інцидентів і годин нальоту та їх розподіл за 2015-2019 роки підтверджують доцільність переходу до експлуатації вертольотів за їхнім технічним станом.

Ризик смертельної травми змінюється від своїх максимальних значень при напрацюванні на інцидент 1000-2300 год і досягає своїх мінімальних значень, починаючи з напрацювання в 4000 год. При цьому для вертольотів Мі-8Т рівень ризиків смертельних травм істотно менший, ніж для вертольотів Мі-8МТВ-1 та Мі-8АМТ. Чисельність загиблих при майже однаковій чисельності людей на борту менше в “малих” авіакомпаній у 1,5 рази.

Кількість інцидентів, пов’язаних з головним редуктором, менше у вертольота Мі-8Т порівняно з вертольотом Мі-8МТВ-1(АМТ). Кількість годин напрацювання на інцидент, пов’язаних зі спрацюванням системи сигналізації пожежі в районі двигунів і головного редуктора, теж свідчить на користь вертольота Ми8Т. Вірогідність виникнення інциденту на 1 год польоту для вертольотів типу Мі-8 менше, ніж представлених на відповідному графіку літаків.

Наведені статистичні дані дають можливість прогнозувати безпеку польотів вертольотів типу Мі-8 під час їх експлуатації за технічним станом.

**Список використаних джерел**

1. Про затвердження Правил інженерно-авіаційного забезпечення державної авіації України : Наказ Міністерства оборони України 05.07.2016 № 343 (із змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства оборони № 223 від 03.08.2021).
2. Ресурси, строки служби та оцінка залишкового ресурсу редукторів вертольотів типу Ми-8 / О. І. Пилипенко, В. В. Кохан, Ю. П. Вусатий, О. В. Журахов, Д. В. Сиворакша // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки. – 2022. – Вип. 12. – С. 109-118.
3. Воронков С. Коли військова авіація розправить крила? [Електронний ресурс] / Сергій Воронков // АрміяInform. – 2020. – 14 листопада. – Режим доступу: <https://armyinform.com.ua/2020/11/14/koly-vijskova-aviacziya-rozpravyt-kryla>.
4. Наукова і науково-технічна діяльність у Збройних силах України 2020 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.mil.gov.ua/content/pdf/sience\\_note.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/pdf/sience_note.pdf).
5. Харченко О. В. Глибока модернізація та переозброєння авіації Збройних Сил України – вимога часу [Електронний ресурс] / О. В. Харченко, С. В. Пашенко. – Режим доступу: <https://www.ukrmilitary.com/2015/12/updateaviationaf.html>.
6. Міністерство оборони України. Командування Повітряних Сил Збройних Сил України. ВІЗІЯ ПОВІТРЯНИХ СИЛ 2035 [Електронний ресурс]. – Травень – 2020. – 42 с. – Режим доступу: [Viziia\\_Povitrianykh\\_Syl\\_2035.pdf](http://Viziia_Povitrianykh_Syl_2035.pdf) (chtyvo.org.ua).
7. Осипов Н. Д. Некоторые вопросы эксплуатации вертолетов Ми-8Т / Осипов Н. Д. // НЦ ПЛГВС ГосНИИ ГА, отдел 132. – 2012. – 21 с.
8. Roy Fox. Improving Helicopter Safety / Roy Fox // International Helicopter Safety Symposium 2005. – Montreal, Quebec, Canada. September 26–29, 2005.
9. Осипов Н. Д. Безопасность авиационной деятельности на вертолетах типа МИ-8 / Н. Д. Осипов // Научный Вестник ГосНИИ ГА. – 2014. – № 5. – С. 64-70.
10. Субботин Р. С. Анализ авиационных событий, произошедших с вертолётами Ми-8МТВ-1 и Ми-8АМТ за 5,5 лет / Р. С. Субботин // Научный Вестник ГосНИИГА. – 2017. – № 16. – С. 82-88.
11. Аналіз стану безпеки польотів за результатами розслідування авіаційних подій та інцидентів з цивільними повітряними суднами України та суднами іноземної реєстрації, що сталися у 2019 році. – К., 2020. – 49 с.

**References**

1. Pro zatverdgenyia Pravyl ingenerno-aviatsijnogo zabezpechennia dergavnoi aviatsii Ukrainy (iz zminamy, vnesenymy zgidno z Nakazom Ministerstva Oborony № 223 від 03.08.2021) [Concerning the approval of the Rules for the gender and aviation support of the state aviation of Ukraine (from mines, a vessel was introduced with the Order of the Ministry of Defense № 223 dated 02.01.2.2016)], Order of the Ministry of Defense of Ukraine dated 05.07.2016 № 343.
2. Pilipenko, O.I., Kohan, V.V., Vusatyi, Yu.P., Gurahov, O.V., Syvoraksha, D.V. (2022). Resursy, stroky slugby ta otsinka zalyshkovogo resursu reduktoriv vertoletiv typu Mi-8 [Resources, service life and assessment of the residual resource of gearboxes of Mi-8 type helicopters]. *Zbirnyk naukovykh prats Dergavnogo naukovo-doselidnogo instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroennya ta vijskovoї tehniky – Scientific collection Proceedings of the State Research Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment*, 12, 109-118.
3. Voronkov, S. (November 14, 2020). Koly viyskova aviatsiia rozpravyt kryla? [When will military aviation spread its wings?]. *ArmiyaInform*. <https://armyinform.com.ua/2020/11/14/kolyvijskova-aviacziya-rozpravyt-kryla>.
4. Naukova i naukovo-tekhnichna diyalnist u Zbroynykh sylakh Ukrainy 2020 [Scientific and scientific and technical activities in the Armed Forces of Ukraine 2020]. (2020). [https://www.mil.gov.ua/content/pdf/sience\\_note.pdf](https://www.mil.gov.ua/content/pdf/sience_note.pdf).
5. Harchenko, O.V., Paschenko, S.V. (2015). *Glyboka modernizatsija ta pereozbrojennya aviatsii Zbrojnykh Syl Ukrainy – vymoga chasu [Deep modernization and rearmament of the aviation of the Armed Forces of Ukraine is the need of the time]*. <https://www.ukrmilitary.com/2015/12/updateaviationaf.html>.
6. Ministerstvo Oborony Ukrainy. Komanduvannya Povitrianykh Syl Zbroynykh Syl Ukrainy. VIZIJA POVITRIANYKH SYL 2035 [Ministry of Defence Ukraine. Air Force Command of the Armed Forces of Ukraine. AIR FORCE VISION 2035]. (May 2020). [Viziia\\_Povitrianykh\\_Syl\\_2035.pdf](http://Viziia_Povitrianykh_Syl_2035.pdf) (chtyvo.org.ua).

7. Osipov, N.D. (2012). *Nekotorye voprosy ekspluatatsii vertoletov Mi-8T [Some issues of operation of Mi-8T helicopters]*. NTs PLGVS GosNII GA, department 132.
8. Roy Fox. (September 26–29, 2005). Improving Helicopter Safety. *International Helicopter Safety Symposium 2005*. Montreal, Quebec, Canada.
9. Osipov, N.D. (2014). Bezopasnost aviatsionnoj dejatel'nosti na vertoletah tipa Mi-8. [Safety of aviation activities on MI-8 helicopters]. *Nauchnyi Vestnik GosNII GA – Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation*, (5), 64-70.
10. Subbotin, R.S. (2017). Analiz aviatsionnyh sobytij, proizoshedshyh s vertoletami Mi-8MTV-1 i Mi-8AMT za 5,5 let [Analysis of aviation events that occurred with MI-8MTV-1 and MI-8AMT helicopters over 5.5 years]. *Nauchnyi Vestnik GosNII GA – Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation*, (16), 82-88.
11. *Analiz stanu bezpeky poletiv za rezultatamy rozsliduvannya aviatsijnyh podij ta intsydentiv z tsyvil'nymy povitranymy sudnamy Ukrainy ma sudnamy inozemnoi reestratsii, scho stalysja u 2019 rotsi [Analysis of the state of flight safety based on the results of the investigation of aviation events and incidents involving civil aircraft of Ukraine and vessels of foreign registration that occurred in 2019]*. (2020).

Отримано 27.03.2023

UDC 629.735.45

### **Oleg Pilipenko**

Doctor of Technical Sciences, Professor

State Research Institute of Tests and Certification of Armament and Military Technique (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [opilip@ukr.net](mailto:opilip@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0590-0107>. ResearcherID: [G-2533-2016](https://orcid.org/G-2533-2016)

## **FLIGHT SAFETY OF MI-8 HELICOPTERS AND THEIR MODIFICATIONS**

*The article is an overview and information. The presented statistical data on the safety of flights of Mi-8 helicopters for the period from 1996 to 2011, the number of incidents, flight hours and their distribution for 2015-2019 confirm the feasibility of switching to the operation of helicopters according to their technical condition.*

*The risk of fatal injury changes from its maximum values at 1000-1200 hours of operation per incident and reaches its minimum values starting from 4000 hours of operation.*

*The number of incidents associated with the main gearbox is less for the Mi-8T helicopter compared to the Mi-8MTV(AMT) helicopter. The number of operating hours per incident associated with the operation of the fire alarm system in the area of the engines and the main gearbox also testifies in favor of the Mi-8T helicopter.*

*The probability of an incident occurring per 1 hour of flight for a Mi-8 helicopter is less than that of the aircraft presented in the corresponding chart.*

**Keywords:** flight safety; assessment of the residual life of gearboxes of Mi-8 helicopters.

Fig.: 3. Table: 5. References: 11.

**Євгеній Сахно**

доктор технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [evsakhno@ukr.net](mailto:evsakhno@ukr.net). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9789-7242>  
Researcher ID: [M-3987-2016](https://orcid.org/0000-0002-9789-7242), SCOPUS Author ID: [57190493489](https://orcid.org/0000-0002-9789-7242)

**ВИКОРИСТАННЯ СТРУМЕНЕВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ СИЛОВОГО ВПЛИВУ  
НА ВАЛ ГІДРОСТАТИЧНОГО ПІДШИПНИКА**

*У науковій статті наведені дослідження формування епюри тисків у модернізованому гідростатичному підшипнику на основі технологій струменевої подачі рідини до гідровузла. Також у роботі розглянуто питання взаємодії імпульсного струменя з валом гідростатичного підшипника. Проведено комп'ютерне моделювання формування полів тиску у звичайному та модернізованому гідростатичному підшипнику.*

**Ключові слова:** гідростатичний підшипник; вал; потік рідини.

Рис.: 3. Бібл.: 6.

**Актуальність теми.** На сьогоднішні дедалі більше виробників технологічного устаткування використовують високошвидкісну обробку при проведенні операцій, що робить процес виробництва більш ефективним та економічним. Головний ефект високошвидкісної обробки полягає у скороченні машинного часу на операції, а також у підвищенні точності роботи механізмів та якості процесу різання. Основою високопродуктивної високошвидкісної обробки стає раціональний вибір параметрів режимів механічної обробки (верстат, система ЧПУ, різальний інструмент, система центрування деталі, система програмування, кваліфікація оператора верстата та інші фактори), і нехтування хоча б одним із них може призвести до технологічного браку виробу.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з цим постає завдання швидкісного, цілеспрямованого силового впливу на режимні зміни навантаження в гідростатичних підшипниках технологічного устаткування для компенсації ударних навантажень, що з'являються в процесі виготовлення виробу. Одним із перспективних методів модернізації системи живлення гідростатичних підшипників (ГСП) є процеси автоматичного регулювання жорсткості та їх несучої здатності. При переміщенні вала машини під навантаженням буде відбуватися зміна осьового зазору в опорі, і для уникнення металевих контактів між спряженими поверхнями пропонується використовувати струменеві системи подачі робочої рідини до підшипника. В основній системі живлення підшипника, рідина подається до його карманів, а в додатковій системі живлення подача робочої рідини відбувається імпульсно, в отвори, що виконані безпосередньо у перемичці гідростатичного підшипника, чим і досягається ефект зміщення вала. При цьому подача додаткового об'єму робочої рідини безпосередньо в точці металевих контактів вала з перемичкою підшипника вимагає модернізації цих систем живлення для вибору раціональних режимів функціонування гідровузла.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, у монографії [1] показано, що гідростатичні підшипники разом із підвищенням надійності та продуктивності обробки дозволяють забезпечити виключно високі показники якості деталей у порівнянні з іншими типами шпindelних опор. У роботі [2] наведено технологію розробки обладнання, робочого інструмента та пристроїв для гідроструменевого очищення поверхонь і технології їх використання для видалення нашарувань різної фізичної природи та хімічного складу при ремонтних роботах у міському господарстві. Наведені результати випробувань розробленого робочого інструмента та пристроїв для гідроструменевого очищення поверхонь. У статтях [3; 4] наведено результати аналізу процесу течії гідросуміші при подачі вихідної пульпи на збагачувальне устаткування, а саме на струменевий пристрій, схема якого представлена в роботі. В основу запропонованої математичної моделі течії в зага-

льному випадку при нестационарному режимі роботи покладено рівняння законів збереження маси й імпульсу окремо для несучої рідини і для твердого компонента в припущенні, що течія одновимірна. Досліджено режими роботи імпульсного гідравлічного привода робочих органів сільськогосподарських машин, визначено переваги та недоліки, типи та конструкції імпульсних гідроприводів та їх вплив на робочий процес. У роботі [5] наведено розрахунки гідроприводного керуючого пристрою зрошувального апарату для автоматичного управління виконавчим органом імпульсного механізму.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Для вирішення поставлених завдань рекомендовано використовувати струменеві технології високого та надвисокого тиску, які знайшли широке застосування в різних галузях промисловості. Для цього необхідно обирати оптимальні режими роботи з енергетичного та витратного погляду, підбирати індивідуально параметри робочої рідини. Як показують відомі дослідження, продуктивність струминних технологій швидко зростає зі збільшенням тиску робочої рідини, тому доцільно використання струменів рідини високого та надвисокого тиску. Однак отримання стаціонарних струменів із такими параметрами пов'язане з великими технічними труднощами. З цієї причини дедалі більшого поширення набувають пульсуючі та імпульсні струмені рідини високого та надвисокого тиску, ефективність яких значно перевищує стаціонарні струмені, що необхідно враховувати при створенні нових конструкцій гідровузла.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є розробка теоретичних підходів та практичних рекомендацій щодо використання струменевих технологій для силового впливу на вал гідростатичного підшипника для компенсації радіального зміщення вала під навантаженням, зменшення ударних навантажень та зносу опорних поверхонь спряжених деталей гідростатичного вузла.

**Результати досліджень.** Загальновідомо, що значна кількість елементів та пристроїв гідроавтоматики, системи подачі палива в теплових двигунах, зварювальні технології, технологія виробництва харчових продуктів, процеси та апарати хімічного виробництва та цілий ряд інших областей техніки стикаються з необхідністю врахування особливостей подачі в'язких рідин та газів через малі отвори круглої та некруглої форми.

В основу пропонованої технічної ідеї покладено патент UA № 126453 F16C 32/06, який було отримано автором і який дозволяє змінювати зони регулювання тиску між валом і перемичками ГСП при перекосі вала в опорі, для здійснення переміщень вала по всій площині гідростатичного підшипника залежно від напрямку прикладання зовнішніх ударних навантажень, які виникають при роботі гідровузла. Запропоноване удосконалення полягає в тому, що в перемичках підшипника (по всьому периметру карманів) виконано  $n$  додаткових отворів, кількість яких залежатиме від конструктивних, технологічних та експлуатаційних параметрів роторного вузла. При зміщенні вала машини під навантаженням буде відбуватися зміна осьового зазору в підшипнику, і для усунення металевих контактів між спряженими поверхнями в отвори, що виконані в перемичках ГСП, подається додатковий об'єм робочої рідини. У додаткові канали підшипника пропонується подавати додаткові імпульсні витрати рідини  $q_i$ , з тиском  $p_i$ , і в результаті чого буде відбуватися збільшення тиску на перемичках опори. При цьому слід мати на увазі, що  $q_i \ll Q$ , що не буде впливати на нормальні режими роботи підшипника [6].

На рисунку 1 показано епюри тиску звичайного та модернізованого підшипника. Було обрано опору, яка має чотири кармани, а в перемичках виконано додаткові опори для струменевої подачі робочої рідини. На рисунку 1 видно тиски та витрати робочої рідини в аксіальному та тангенціальному напрямках основних отворів  $dQ_i^a, dQ_i^r$  та додаткових отворів  $dq_i^a, dq_i^r$ .

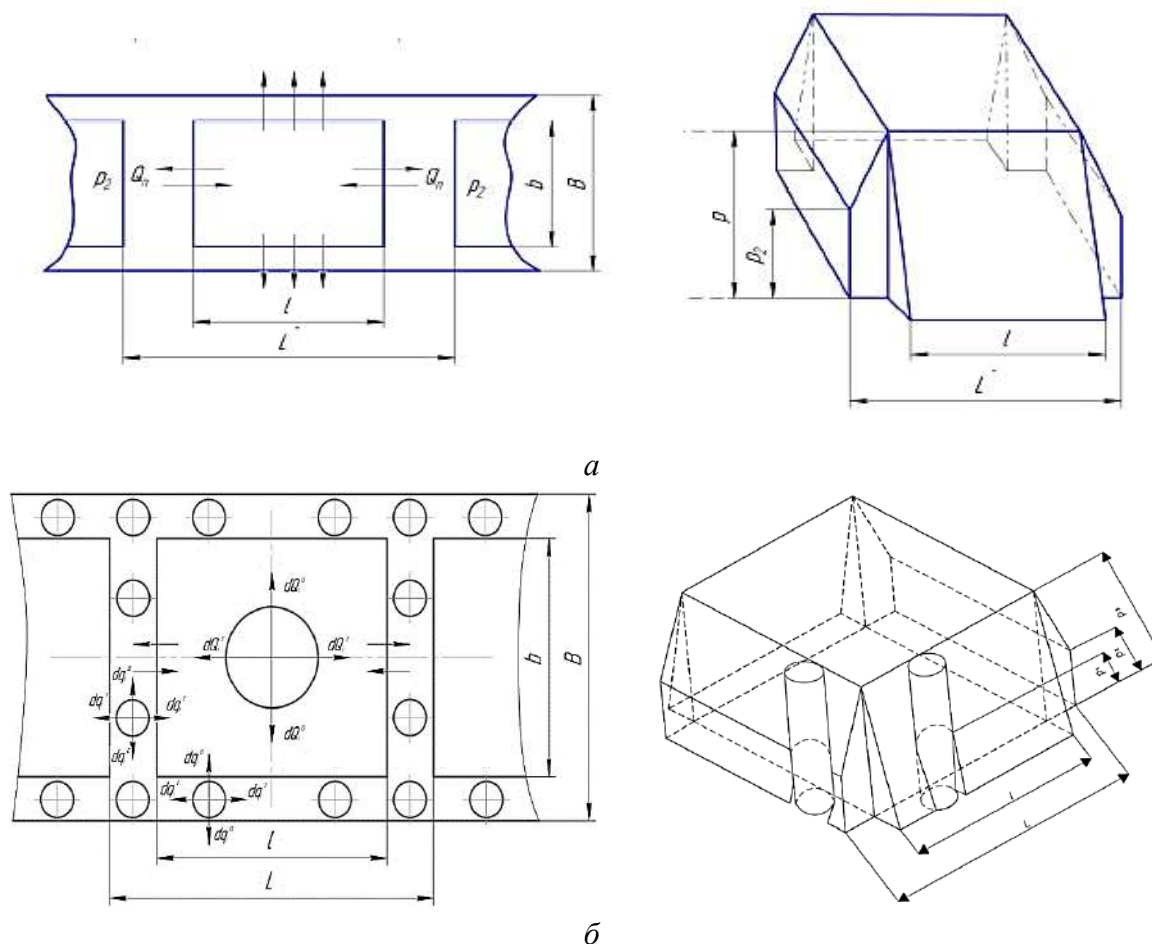


Рис. 1. Епюри розподілу тиску в опорі:

а – звичайний підшипник; б – підшипник з додатковими отворами

Для побудови епюри тисків визначимо ефективну площу опори:

$$F_{\text{эф}} = F_2 \cdot C_F \tag{1}$$

де  $C_F$  – коефіцієнт ефективності опори;  $F_2$  – геометрична площа опори.

Відповідно до рис. 1 для кармана опори шириною  $b$  площа буде  $F_b = bl$ , а для ширини  $B$  визначиться як  $F_B = BL'$ , де  $l$  і  $L'$  – довжина опор.

Коефіцієнт ефективності опори  $C_F$  є відношення об'єму фактичної епюри розподілу тиску в опорі до об'єму прямокутної епюри тиску. Коефіцієнт  $C_F$  обчислюємо за такою формулою:

$$C_F = \frac{(V_K + V_{nL} + V_{nb})}{V_{np}}, \tag{2}$$

де  $V_K$  – об'єм епюри в кишені;  $V_{nL}$  – об'єм епюри під перемичками довжини  $L$ ;  $V_{nb}$  – об'єм епюри під перемичками довжини  $b$ ;  $V_{np}$  – об'єм прямокутної епюри.

Об'єм епюри всередині кишені визначається як  $V_K = b \cdot l \cdot p$ , а об'єм під перемичками довжини  $l$  відповідно:  $V_{nl} = l \frac{B-b}{2} \cdot p$ . І, відповідно об'єм під перемичками довжини  $b$  визначиться за формулою:

$$V_{nb \text{ ок}} = (L' - l) \cdot b \cdot p_2 + (L' - l) \cdot b \cdot \frac{p - p_2}{2}. \tag{3}$$

Об'єм прямокутної епюри для ГСП буде визначиться як  $V_{np} = B \cdot L'$ .

Для модернізованого підшипника (рис. 1, б) необхідно до об'єму епюр додати об'єм, рідини, що створюється додатковими отворами діаметром  $d$ ,  $V_u = \frac{\pi d^2}{4}$ . Таким чином об'єм епюри під перемичками довжиною  $L$  буде (рис. 1, б):

$$V_{III} = L \frac{B-b}{2} \cdot p + \frac{\pi d^2}{4} (p_3 - p_1) n. \quad (4)$$

А під перемичкою довжиною  $B$  визначиться як:

$$V_{nb \text{ бк}} = (L' - l) \cdot b \cdot p_2 + (L' - l) \cdot b \cdot \frac{p - p_2}{2} + \frac{\pi d^2}{4} (p_3 - p_1) n, \quad (5)$$

де  $n$  – відповідно кількість отворів.

Підставляючи отримані залежності у формулу (2), можна визначити коефіцієнт ефективності опори  $C_F$ , що й буде визначати її ефективність.

Сила тиску струменя на перешкоду  $P$  дорівнює, за величиною, силі реакції  $R$ , але вона спрямована в протилежний бік.  $R = \rho Q_0 V_0 = \rho S_0 V_0^2$ , де  $Q_0$  – витрата,  $S_0$  – площа поперечного перетину,  $V_0$  – швидкість струменя. Розглянемо взаємодію імпульсного гідравлічного струменя з твердою стінкою в межах одиничного імпульсу при пульсуючому русі. Нехай імпульс струменя площею поперечного перетину  $S_0$ , що рухається з початковою швидкістю  $V_0(H,t)$  зустрічаючи на своєму шляху перешкоду, чинить на останню гідродинамічний тиск. Нерухома поверхня своєю чергою діє на імпульс з деякою силою  $R(H,t)$ , спрямованою в загальному випадку під кутами  $\beta_1$  та  $\beta_2$  (рис. 2, а) до осі імпульсного струменя.

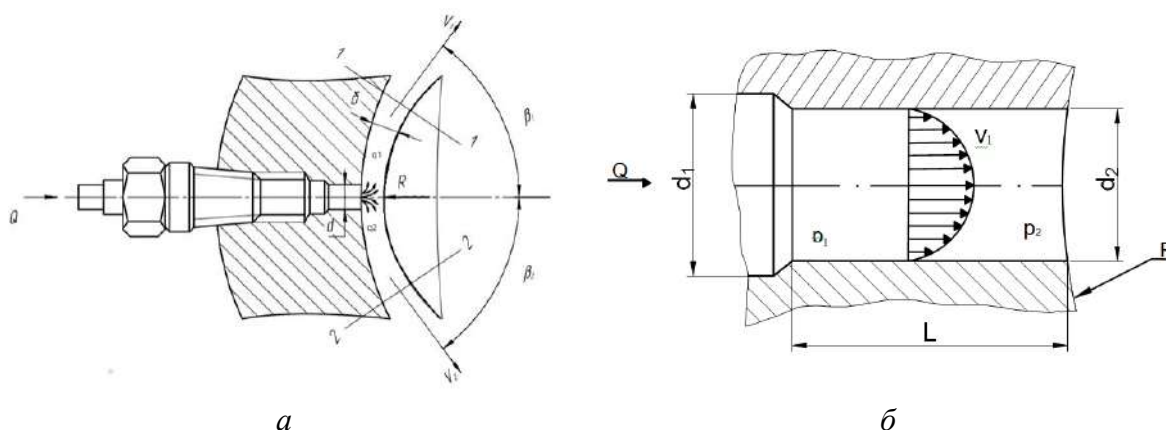


Рис. 2. Схема подачі робочої рідини:  
а – взаємодія імпульсного струменя з валом ГСП;  
б – схема руху в'язкої рідини через отвір

Як відомо, реактивна сила  $R(H,t)$  дорівнює абсолютній величині сили активного тиску імпульсу струменя. Проекція реактивної сили на горизонтальну вісь, що збігається з віссю струменя в загальному випадку, виражається залежністю:

$$R_x(H,t) = \rho Q_1(H,t) v_1(H,t) - [\rho Q_2(H,t) p_2(H,t) \cos \beta_2 + \rho Q_3(H,t) p_3(H,t) \cos \beta_3] + G_x(H,t). \quad (6)$$

де  $\beta$  – кут напряму струменів, що залежить від діаметра поверхні;  $G_x(H,t)$  – проєкція ваги струменя на вісь  $OX$ ;  $\rho Q(H,t) = m(H,t)$  – секундна маса.

Розглянемо випадок симетричного удару струменя у перешкоду, коли  $\beta_1 = \beta_2$ , наприклад, у разі удару струменя в циліндричну поверхню, симетричну щодо осі струменя. Напрямок реактивної сили  $R(H,t)$  у цьому випадку збігається з віссю імпульсного струменя.



Нехай є циліндрична поверхня (рис. 2, а), а елементарні струмки хоч і не паралельні між собою при русі навколо циліндричної поверхні, але внаслідок симетрії фігури складають із віссю струменя кут  $\beta_1 = \beta_2 = \beta$ .

Швидкості течії після удару імпульсу (в точках виходу струменя) та маси струменя рівні між собою:

$$p_2(H, t) = p_3(H, t) = p_1(H, t) \text{ і } m_2(H, t) = m_3(H, t) = \frac{1}{2} m_1(H, t).$$

Крім того, передбачається, що вісь імпульсною струменя спрямована горизонтально, так що вага струменя не впливає на величину тиску на поверхню.

Реакція поверхні спрямована по осі симетрії, і на підставі рівняння (6) дорівнюватиме:

$$m_1(H, t) p_1(H, t) - \frac{1}{2} m_1(H, t) p_1(H, t) \cos \beta - \frac{1}{2} m_1(H, t) p_1(H, t) \cos \beta = R(H, t), \quad (7)$$

або:

$$m_1(H, t) p_1(H, t) - m_1(H, t) p_1(H, t) \cos \alpha = -R(H, t), \quad (8)$$

Сила удару одиничного імпульсу  $P(H, t) = -R(H, t)$  в циліндричну поверхню відповідно буде:

$$-R(H, t) = m_1(H, t) p_1(H, t) (1 - \cos \alpha). \quad (9)$$

Підставимо замість  $m(H, t) = \rho Q(H, t)$  та отримаємо:  
 $-R(H, t) = \frac{\gamma}{g} Q(H, t) p_0(H, t) (1 - \cos \alpha),$

або

$$-R(H, t) = \frac{\gamma}{g} w_0 p_0^2(H, t) (1 - \cos \alpha). \quad (10)$$

Відомо, що найбільш істотний вплив на процес подачі рідини через отвори та насадки надає характер руху рідини: ламінарний, або турбулентний, при цьому характер напірного руху в'язкої рідини найчастіше оцінюється критерієм подібності Рейнольдса. Величина числа Рейнольдса (Re) дуже залежить від розмірів отвору, через який протікає рідина. Великі значення числа Рейнольдса реалізуються навіть на невеликих швидкостях витікання малов'язкої рідини через отвори середніх та великих розмірів. Малі числа Рейнольдса можуть бути отримані тільки при протіканні в'язкої рідини (наприклад, мінеральної олії) через отвори дуже малих діаметрів (часткою міліметра). Наприклад, режим ламінарного витікання води при середній швидкості руху 10 м/сек та числі  $Re = 100$  буде реалізований, якщо діаметр круглого отвору становитиме 0,01 мм. Характер протікання рідини при малих числах Re має значення в елементах та пристроях гідроавтоматики, що забезпечують дроселювання в'язкої мінеральної олії через вузькі прохідні перетини та зазори.

Гідродинаміка процесу витікання в'язкої рідини через отвори малого діаметра досить складна, і вона описується набором математичних залежностей. Розрахункова схема витікання в'язкої рідини (мінеральної олії) через отвір малого діаметра з гострою кромкою показана на рис. 2, б. У режимі затопленого струменя рідина протікає через отвір у режимі затопленого струменя, якщо пропускна здатність відводу менше витрати струменя, а вихідна камера ізольована від атмосфери. У цьому випадку рівняння Бернуллі буде має вигляд:

$$\frac{p_1}{\rho_g} = \frac{p_2}{\rho_g} + \frac{\xi_{омб}}{2g} V_1^2 + \frac{\xi_p}{2g} (V_{cm} - V_2)^2, \quad (11)$$

де  $\rho$  – густина рідини;  $V_l$  – середня швидкість руху рідини в каналі;  $V_{cm}$  – середня швидкість руху рідини в стислому перерізі струменя;  $V$  – середня швидкість руху рідини у вхідному перерізі отвору;  $\xi_{отв}$  – коефіцієнт гідравлічного опору круглого отвору з гострою кромкою.

Виражаючи швидкості в рівнянні (11) через масову витрату  $G$ , що дорівнюватиме

$$G = \mu_M S_{ome} \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}, \text{ отримаємо:}$$

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho} = 0,5 \xi_{ome} \left( \frac{G}{\rho S_{ome}} \right)^2 + 0,5 \xi_{ome} \left( \frac{G}{\rho_{cm} \varepsilon A_{ome}} - \frac{G}{\rho S_{ome} m} \right)^2, \quad (12)$$

де  $\mu_M$  – коефіцієнт масових витрат затопленого струменя;  $S_{ome}$  – площа прохідного перерізу отвору діаметром  $d$  по входній кромці;  $\Delta p = p_1 - p_2$  – перепад тисків на отворі,  $\varepsilon = S_{cm}/S_{ome}$  – коефіцієнт стискування струменю.

До моделювання приймаємо 3D моделі, розроблені в пакеті Flow Simulation, базової та модернізованих конструкцій гідростатичного підшипника. Після вводу основних параметрів, отримуємо розрахункову сітку з кроком 0,0025 м. У результаті отримуємо графіки робочих процесів для моделей та діаграми розподілу тиску в гідроопорах (рис. 3). Для моделювання описаних процесів формування епюри тисків задаємо параметри, які відповідають роботі ГСП при обертанні вала з частотою 1000 об/хв; тиск з яким подається масло до кармана гідроопори  $p_{cm} = 0,08$  МПа; робоча рідина – моторне масло SAE 10W40 з наступними характеристиками: динамічна в'язкість – 0,38 Па·с; густина – 873 кг/м<sup>3</sup>; матеріал вала вуглецева сталь; чистота обробки поверхні корінної шийки 6,3 мкм; режим моделювання приймаємо на середні значення.

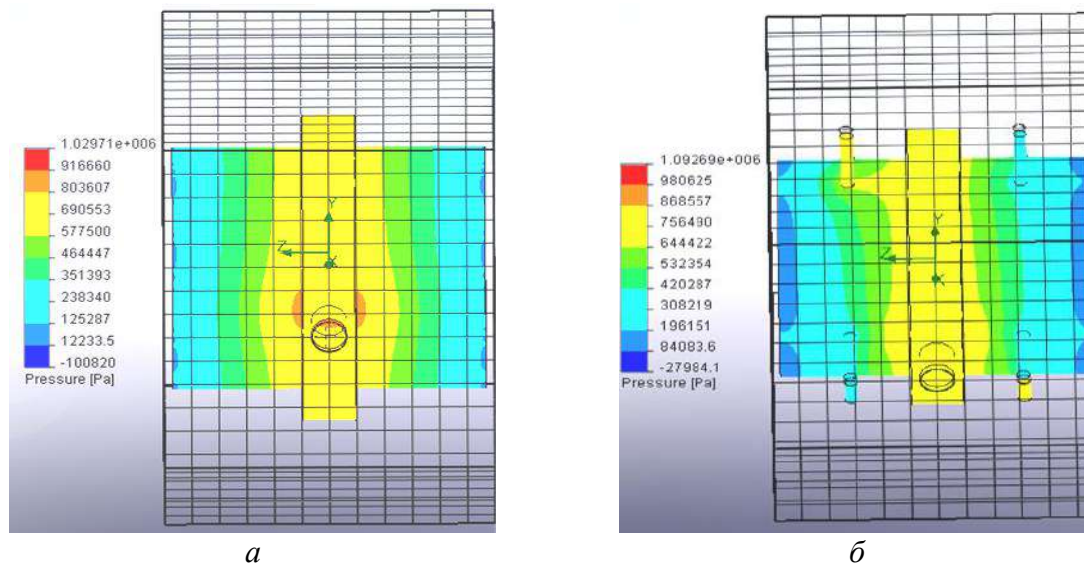


Рис. 3. Діаграми розподілу тиску в гідроопорах:

*а* – базова гідроопора; *б* – подача додаткового об'єму масла в перемички гідроопори

З отриманих діаграм видно, що форми епюри тиску, в цілому, відповідають схемам, що представлені на рис 1. При цьому, з епюри розподілу тиску звичайної опори (рис. 3, *а*) на поверхні гідростатичного підшипника видно, що його значення не перевищують середніх позначок, і в зоні кармана ГСП становлять 0,069 МПа, а на краях підшипника знижуються до 0,012 МПа.

При виконанні гідростатичного підшипника з додатковою подачею масла в перемички (рис. 3, *б*), яскраво видно стовпчики тиску від подачі робочої рідини в додаткові отвори. Епюра розподілу тиску на поверхні ГСП показує, що в зонах перекошу відбувається підвищення тиску до 0,055 МПа, а зони середніх тисків розширюються забезпечуючи збільшення несучого шару. З епюр розподілу тиску в модернізованих гідростатичних підшипниках видно, що стабілізація вала відбувається коли тиск сягає максимальних

значень, а розподіл зони високого та середнього тиску переміщується в точки найбільших навантажень на вал. Таким чином, на відміну від базової гідроопори (рис. 3, а), у модернізованому ГСП (рис. 3, б) відбувається, швидка стабілізація положення вала в опорі, за рахунок стрімкішого наростання тиску в кармані й на перемичках, збільшуються швидкості руху масла в зонах навантаження, відбувається миттєва компенсація нестачі масляного шару. Тобто зона активного впливу масляного шару розширюється і відповідно збільшується несуча здатність гідростатичного підшипника.

Існує різноманіття конструкцій для створення імпульсних струменів. Усі існуючі пристрої можна розділити на пристрої, що виштовхують струмінь тиском, кумулятивні пристрої, пристрої розподільчого типу (золотникові та клапанні), гідроударні підвишувачі тиску.

**Висновки.** На основі вищезазначеного можна стверджувати, що розробка математичних моделей струменевого впливу на вал гідростатичного підшипника, що адекватно відображають технологічні процеси, є важливим та актуальним завданням, вирішення якого дозволить отримати нові знання щодо протікання цих процесів з можливістю їхнього керування. Також важливим результатом проведеного комп'ютерного моделювання є перевірка розроблених моделей та методів, що дозволяє оцінити адекватність проектних рішень, встановити критерії використання виробу і перевірити надійність та ефективність методів, та переконатися у достовірності отриманих результатів.

Також результатами даного дослідження є розширене вивчення особливостей витікання мінеральної олії (основної робочої рідини для гідроприводів) через круглі отвори малого діаметра, уточнення відомих даних щодо режимів протікання рідини в зоні контакту вала з перемичкам гідроопори. Встановлено, що при модернізації ГСП, змінюється форма епюри тиску в підшипнику, і на ній з'являються стовпчики тиску від подачі рідини в додаткові отвори. В результаті цього збільшується швидкості руху рідини в зонах навантаження, і відповідно несуча здатність гідростатичного підшипника

Не менш важливим результатом наукової роботи є визначення технічних параметрів для складання пакетів прикладних програм, в яких практично реалізуються розроблені моделі та методи для вирішення поставлених теоретичних та прикладних завдань.

#### Список використаних джерел

1. Федориненко Д.Ю. Шпindelні гідростатичні підшипники : монографія / Д. Ю. Федориненко, С. П. Сапон. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – 403 с.
2. Белятинський А. О. Новітні гідроструменеві технології для ремонтних робіт на автошляхах : монографія / А. О. Белятинський, В. М. Бадах, В. М. Першаков ; за ред. д.т.н., проф. В. М. Першакова. – К. : ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін», 2017. – 100 с.
3. Блюсс Б. О. Динаміка вихрових структур в напірних течіях гідросумішей при переробці мінеральної сировини / Б. О. Блюсс, П. В. Лук'янов, С. В. Дзюба // Геотехнічна механіка. – 2018. – № 141. – С. 86-98.
4. Ялина О. О. Дослідження режимів роботи імпульсного гідравлічного приводу робочих органів сільськогосподарських машин / О. О. Ялина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2022. – № 3 (309). – С. 111-114.
5. Гідропривідний керуючий пристрій імпульсного зрощувального апарату / А. А. Задорожна, О. І. Павлюк, Г. С. Ратушняк, І. В. Коц // Вибірці в техніці та технологіях. – 2011. – № 1(61). – С. 82-84.
6. Сахно Є. Ю. Визначення основних параметрів модернізованого гідростатичного підшипника з урахуванням зміщення вала під навантаженням / Є. Ю. Сахно // Технічні науки та технології. – 2022. – № 1(27). – С. 7-15.

#### References

1. Fedorinenko, D.Y., Sapon, S.P. (2015). *Shpyndelni gidrostatychni pidshypnyky [Spindle hydrostatic bearings]*. Chernihiv. Nats. Technol. Un-t.
2. Belyatinsky, A.O., Badakh, V.M., Pershakov, V.M. (2017). *Novitni hidrostrumenevi tekhnolohii dlia remontnykh robit na avtoshliakhakh [The latest hydrojet technologies for repair work on highways]*. NVF Slavutych-Delfin LLC.

3. Blyuss, B.O. Lukyanov, P.V. Dzyuba, S.V. (2018). Dynamika vykhrovykh struktur v napirnykh techiakh hidrosumishei pry pererobtsi mineralnoi syrovyny [Dynamics of vortex structures in pressure flows of aqueous mixtures during processing of mineral raw materials]. *Heotekhnichna mekhanika – Geotechnical Mechanics*, 141, 86-98.

4. Yalya, O.O. (2022). Doslidzhennia rezhymiv roboty impulsnoho hidravlichnoho pryvodu robochykh orhaniv silskohospodarskykh mashyn [Study of the modes of operation of the impulse hydraulic drive of working bodies of agricultural machines]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu- Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 3(309), 111-114.

5. Zadorozhna, A.A. Pavlyuk, O.I. Ratushniak, H.S. Kots, I.V. (2011). Hidropryvidnyi keruiuchy prystrii impulsnoho zroshuvannia aparatu [Hydraulic control device of pulse irrigation device]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technologies*, 1(61), 82-84.

6. Sakhno, E.Y. (2022). Vyznachennia osnovnykh parametriv modernizovanoho hidrostatychnoho pidshypnyka z urakhuvanniam zmishchennia vala pid navantazhenniam [Determination of the main parameters of the modernized hydrostatic bearing taking into account the displacement of the shaft under load]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 1(27), 7-15.

Отримано 23.02.2023

UDC 621.92

### **Yevgeniy Sakhno**

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [evsakhno@ukr.net](mailto:evsakhno@ukr.net), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9789-7242>

Researcher ID: [M-3987-2016](https://orcid.org/0000-0002-9789-7242), SCOPUS Author ID: [57190493489](https://orcid.org/0000-0002-9789-7242)

## **USE OF JET TECHNOLOGIES FOR FORCE ACTION ON THE SHAFT OF A HYDROSTATIC BEARING**

*One of the directions of modernization of the power supply system for hydrostatic bearings is automatic adjustment of stiffness and their load-bearing capacity. Therefore, the paper solves the problem of rapid, targeted force action on load changes in hydrostatic resistances of technological equipment to compensate for loads occurring during the manufacturing process of the part.*

*To solve these tasks, it is recommended to use high- and ultra-high-pressure jet technologies, which are widely used in various industries. To do this, it is necessary to choose the optimal operating modes from the energy and consumption points of view, and select the working fluid parameters individually. Well-known studies show that the performance of jet technologies increases rapidly with increasing pressure of working fluids, so it is advisable to use high- and ultra-high-pressure liquid jets. However, obtaining stationary jets with such parameters is associated with great technical difficulties.*

*Analysis of research and publications in the field of modernization of hydrostatic bearings based on jet technologies has shown that the issues of controlling shaft movements under loads during rotation of the Rotary unit are currently given little attention in the scientific literature.*

*The purpose of this work is to develop theoretical approaches and practical recommendations for the use of jet technologies for force action on the shaft of a hydrostatic bearing to compensate for the radial displacement of the shaft under load, reduce shock loads and wear of the support surfaces of the conjugated parts of the hydrostatic unit.*

*The performed studies made it possible to obtain pressure plots in the upgraded hydrostatic bearing based on jet liquid supply technologies to the hydraulic unit. Computer modeling of the formation of pressure fields in a conventional and upgraded hydrostatic bearing was also performed.*

**Keywords:** hydrostatic bearing; shaft; stream of liquid.

*Fig.: 3. References: 6.*

**Павло Кондрашев**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри лазерної техніки та фізико-технічних технологій  
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [kondrashev@ukr.net](mailto:kondrashev@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-710X>. ResearcherID: [AAK-5011-2020](https://orcid.org/AAK-5011-2020)

**ВПЛИВ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ЯКІСТЬ ВНУТРІШНЬОЇ  
МІКРОСТРУКТУРИ ПРИ ЛАЗЕРНОМУ СПЛАВЛЕННІ ПОРОШКУ**

*При проєктуванні технологічних процесів перед розробниками завжди стоять завдання, спрямовані на підвищення ефективності реалізації процесу 3D-технологій, а також вдосконалення технологічного оснащення. Основні зусилля спрямовані на пошук підвищення якісних показників внутрішньої структури сплавлених виробів.*

*Метою статті є покращення якості внутрішньої мікроструктури сплавлених примітивів із порошкової композиції AlSi10Mg, за рахунок додавання в зону лазерної обробки статичного магнітного поля при реалізації технології DMLS.*

*У цій роботі було досліджено вплив статичного магнітного поля на мікроструктуру порошкової композиції AlSi10Mg. Результати показали, що застосоване магнітне поле призводить до збільшення відносної щільності (зменшення пористості) внутрішньої мікроструктури та зменшення інтервалу між дендритами в обробленому матеріалі.*

**Ключові слова:** статичне магнітне поле; коаксіальне сопло; лазерне сплавлення; порошкова композиція.

*Рис.: 3. Табл.: 3. Бібл.: 10.*

**Актуальність теми дослідження.** Останні роки швидко набирає обертів розвиток адитивних технологій у всьому світі. Це легко пояснити тим, що більшість із них використовує як інструмент сфокусований лазерний промінь. Можливості лазерного променя унікальні, а саме: це відсутність контактних явищ у зоні обробки, можливість обробляти будь-який матеріал, який неможливо обробити традиційними способами, наприклад, механічною обробкою, литвом, тиском та ін. Тому пошук різноманітних методів та підходів, спрямованих на вдосконалення технологічних процесів та обладнання для цих технологій, безумовно, є актуальним завданням, яке ставить перед науковою спільнотою сучасна кон'юнктура ринку сучасних технологій.

**Постановка проблеми.** Для широкого загалу адитивні технології відомі як 3D-друк із різноманітних порошкових матеріалів [1-2]. Існує багато схем реалізації технології 3D-друку, серед найбільш поширених у сучасному виробництві це SLM [2-4] пошарове лазерне сплавлення порошкового матеріалу і DMLS пряме лазерне сплавлення матеріалу [5]. Кожна із цих технологій має свої переваги та недоліки, але з погляду досліджень, спрямованих на підвищення ефективності реалізації процесу лазерного сплавлення порошкових матеріалів, є саме технологія DMLS. Учені всього світу намагаються шукати шляхи та підходи щодо вдосконалення цієї технології. Зокрема, особлива увага приділяється якості внутрішньої структури сплавлених виробів із мінімальною кількістю дефектів, таких як пори, тріщини та ін.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині існує багато інженерних рішень для підвищення якості сплавлених виробів за рахунок удосконалення засобів доставки порошку в зону лазерної обробки – це коаксіальні сопла різної геометричної конфігурації [6]. Але таке інженерне рішення має певні проблеми з налагодженням технічної складової засобу доставки порошку в зону лазерної обробки, що, безумовно, відображається на гнучкості технологічного процесу загалом. Рішення цієї проблеми запропоновано авторами роботи [7-8]: це використання статичного магнітного поля як додаткове джерело енергії. Проте статичне магнітне поле, по-перше, було застосовано для реалізації технології SLM [7-8] пошарового сплавлення порошку і, по-друге, розташування магніту було в нижній частині металевого бункера для порошкової композиції. Таке розташування магніту забезпечує напрямок магнітного поля паралельно напрямку лазерного променя, що значно обмежує вплив магнітних сил на поперечне розподілення порошкової концентрації в зоні лазерної обробки, що має суттєвий вплив на якісні показники виробів при реалізації технології DMLS. Аналіз існуючих інженерних рішень

та підходів показав недостатній акцент досліджень, спрямованих на підвищення концентрації дисперсної фази в зоні лазерної обробки, що дає можливість підвищити якісні показники сплавлених виробів при реалізації технології DMLS.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У цій публікації досліджено та запропоновано вдосконалення використання статичного магнітного поля як додаткового джерела енергії для підвищення ефективності реалізації технології DMLS. Для цього було запропоновано схему розташування 4 магнітів по периметру фокуса газопорошкового струменя, що дає можливість керувати рівнем дисперсної фази порошкової композиції в зоні лазерної обробки. Ця схема є більш простою в реалізації, що значно збільшує гнучкість та ефективність технологічного процесу.

**Метою статті** є покращення якості внутрішньої мікроструктури сплавлених примітивів із порошкової композиції AlSi10Mg, за рахунок додавання в зону лазерної обробки статичного магнітного поля при реалізації технології DMLS.

**Виклад основного матеріалу.** Враховуючи високу складність протікання фізичних процесів при реалізації технології DMLS, а також спираючись на досвід апріорної інформації, було використано активну стратегію проведення експерименту [9], яка дозволяє ефективно оцінити вплив одразу декількох технологічних факторів на реалізацію цієї технології. Як матеріал для досліджень було обрано порошкову композицію на основі алюмінію AlSi10Mg [10] дисперсністю 60 мкм. Вибір цього матеріалу ґрунтується на його чудових фізико-механічних властивостях (табл. 1). Це один із найпоширеніших порошків для технологій 3D-прототипування. Його широко використовують у таких галузях сучасної промисловості: аерокосмічна, авіабудівна, автомобілебудівна, енергетична тощо.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості порошкової композиції AlSi10Mg

Тип випробування	Напрямок ХУ	Напрямок Z
Границя міцності	325-350 МПа	330-360 МПа
Границя текучості	210-245 МПа	175-225 МПа
Модуль Юнга	67-77 ГПа	62-72 ГПа
Подовження	9-14 %	5-12 %
Твердість	114-124 HV	
Густина	2,66 г/см <sup>3</sup>	

Такі показники досягають за рахунок оптимально збалансованого підбору хімічного складу, а також технології виготовлення цього порошку (табл. 2).

Таблиця 2 – Хімічний сплав порошкової композиції AlSi10Mg

Si	Fe	Mn	Mg	Ti	Pb+Sn	O	Zn	N	Ni	Cu	Al
≤9,11%	≤0,55%	≤0,45%	0,45%	≤0,15%	≤0,1%	≤0,1%	≤0,1%	≤0,05%	≤0,05%	≤0,05%	основа

Основні об'єкти виробництва: кронштейни, трубопровідна арматура, хвилеводи, повітропровід, теплообмінники. Схема експериментального обладнання наведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема експериментального обладнання

На підставі апріорної інформації, а також проведених раніше експериментальних досліджень, з урахуванням кореляції [1-6] було виділено низку ключових технологічних факторів, які мають найбільш вагомий вплив на процес реалізації технології DMLS, а саме: величина статичного магнітного поля забезпечувалася чотирма розташованими по периметру підложки магнітами кубічної форми різних габаритних розмірів (80...120 мм)×(80...120 мм)×(80...120 мм), масова витрата порошкового матеріалу, швидкість переміщення підложки, положення підложки щодо вихідного отвору сопла. Решта технологічних факторів таких як: потужність лазерного випромінювання, модовий склад (апертура лазерного пучка), діаметр лазерного променя, геометрія твірних зовнішнього та внутрішнього сопла, робочий тиск та тип транспортуючого газу були зафіксовані у стабільному стані.

**Результати проведених досліджень.** Одним з основних показників якості внутрішньої мікроструктури сплавлених зразків було обрано дослідження пористості внутрішньої мікроструктури (тобто наявності таких дефектів, як пор, тріщин та інших порожнин) при реалізації процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу AlSi10Mg, як зазначалось вище, були застосовані методи математичної статистики. Для практичної реалізації активної стратегії проведення експерименту було застосовано не композиційний план Бокса-Бенкена для чотирьох технологічних факторів, у вигляді полінома (1) другого порядку [8].

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{i=k} b_i x_i + \sum_{i \leq j}^{i=k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{ii=1}^{i=k} b_{ii} x_i^2, \quad (1)$$

де  $k$  – кількість технологічних факторів;

$b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$ -коефіцієнти полінома;

$i, j$ -індекси.

Трансформування технологічних факторів впливу на процес лазерного сплавлення порошкової композиції AlSi10Mg з натурального масштабу  $X_i$  до кодованого здійснювалося за допомогою залежностей (2).

$$X_i = X_{i0} + \Delta X_i x_i, \quad (2)$$

де  $X_{i0}$  – центр експерименту  $i$ -го технологічного фактору впливу в натуральному масштабі;

$X_i$  –  $i$ -ий технологічний фактор впливу в натуральному масштабі;

$\Delta X_i$  – інтервал варіювання для  $i$ -го фактору впливу;

$x_i$  –  $i$ -ий фактор впливу.

Як функція відгуку була використана величина пористості внутрішньої мікроструктури сплавлених примітивів ( $P$ ). Як технологічні фактори впливу на функцію відгуку при реалізації технології DMLS (визначених раніше), за умови стабілізації факторів діаметра лазерного променя, щільності та потужності лазерного випромінювання були використані величина статичного магнітного поля ( $x_1$ ), масова витрата порошку ( $x_2$ ), швидкість переміщення підложки ( $x_3$ ), положення підложки відносно вихідного отвору сопла ( $x_4$ ). Коефіцієнти полінома  $b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii}$ -моделі (1) розраховувалися за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення з використанням математичного апарату лінійної алгебри [9], залежність (3). Матриця умов експерименту  $X$  була згенерована за допомогою збалансованої блок-схеми для чотирьох незалежних змінних ( $x_1, x_2, x_3, x_4$ ), яка складається з шести блоків (повно факторний експеримент  $2^2$ ) [9], варіювання технологічних факторів проводилося на трьох рівнях (мінімум, центр, максимум).

$$B = (X^T X)^{-1} (X^T Y), \quad (3)$$

Гіпотеза стосовно адекватності отриманої математичної моделі пористості внутрішньої мікроструктури, проводилася за критерієм Фішера  $F$  [9]. Достовірність результатів експерименту за цим критерієм відповідає 5%-й похибці (4).

$$F^{розр.} \leq F^{табл.}, \tag{4}$$

де  $F^{розр.}$  – розрахункове значення критерію Фішера [9];

$F^{табл.}$  – табличне значення критерію Фішера [9].

Серія проведених раніше попередніх досліджень [9] дозволила визначити реперні точки для основного технологічного рівня в центрі експерименту та відповідно границі досліджуваного простору (табл. 3).

Таблиця 3 – Рівні варіювання технологічних факторів

Рівні варіювання технологічних факторів	Незалежні змінні			
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$
Розмірність	Тл.	г/с	мм/с	мм
Основний рівень	0,12	0,3	2,0	5
Інтервал варіювання	0,06	0,1	1,0	2
Верхній рівень	0,18	0,4	3,0	7
Нижній рівень	0,60	0,2	1,0	3

Після розрахунку коефіцієнтів полінома залежність (1) була отримана математична модель функції відгуку пористості  $P$  сплавлених примітивів. Графічна інтерпретація математичної моделі функції відгуку наведена на рис. 2.

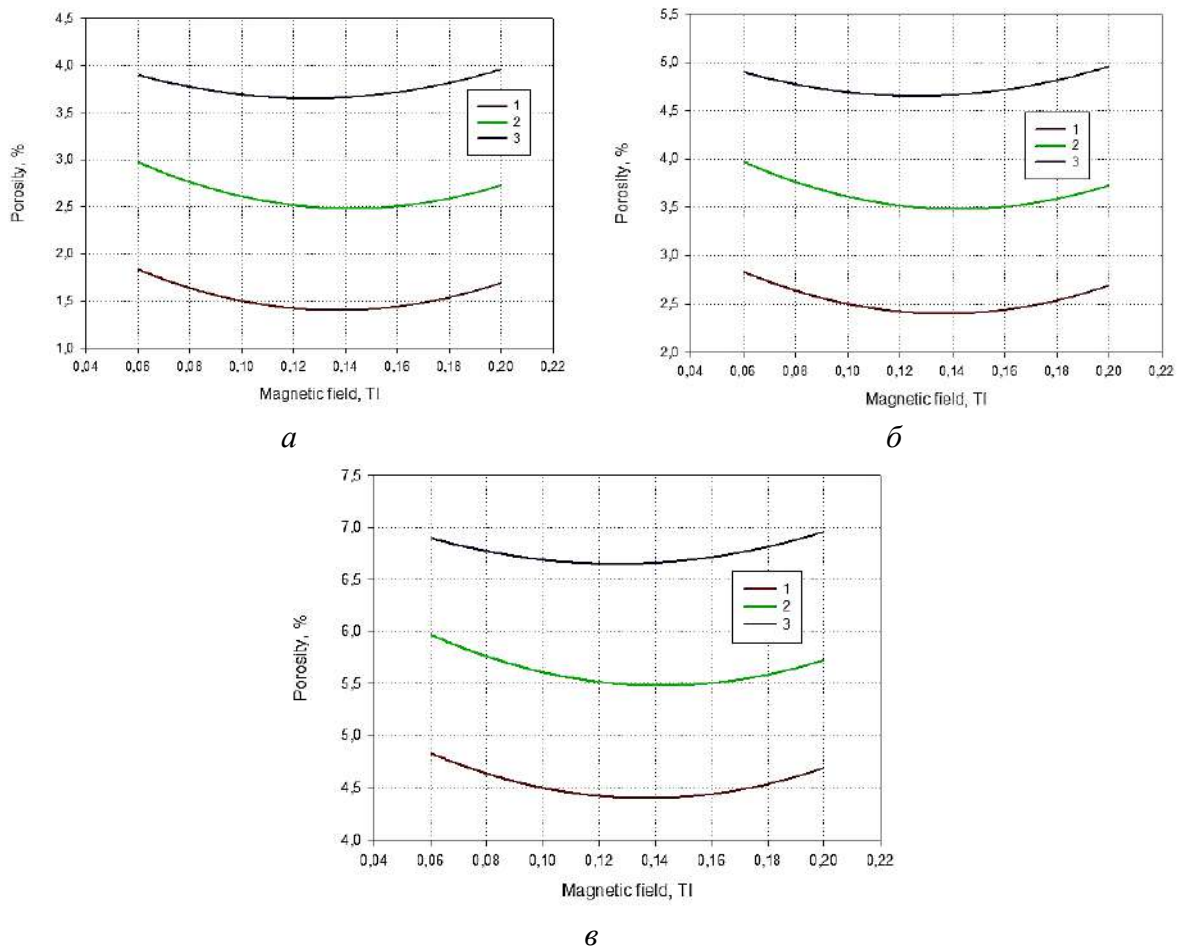


Рис. 2. Залежність пористості від величини інтенсивності магнітного поля: а – масова витрата порошкової композиції 0,2 г/с, швидкість переміщення підложки 1 мм/с; б – масова витрата порошкової композиції 0,3 г/с, швидкість переміщення підложки 2 мм/с; в – масова витрата порошкової композиції 0,4 г/с, швидкість переміщення підложки 3 мм/с



Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що найкращі показники якості, тобто найнижча пористість була досягнута при інтенсивності магнітного поля 0,12 Тл, масовій витраті порошкової композиції 0,2 г/с, швидкості переміщення підложки 1 мм/с (рис. 2, а). Це пояснюється ефективністю дії статичного магнітного поля в зоні лазерної обробки, а саме збільшується кількість дисперсної складової у фокальній площі газопорошкового струменя. Водночас найгірші показники якості внутрішньої структури сплавлених примітивних зразків спостерігаються при таких параметрах керування це: масова витрата порошку 0,4 г/с, швидкість переміщення підложки 3 мм/с це пояснюється передусім великою швидкістю переміщення підложки, що своєю чергою продукує невеликий час дії лазерного опромінення на порошкову композицію (рис. 2, в). Дещо кращі результати спостерігаються на рис. 2, б при масовій витраті 0,3 г/с та швидкості переміщення підложки 2 мм/с.

Дослідження мікроструктури сплавлених зразків підтвердили адекватність математичної моделі функції відгуку (рис. 3).

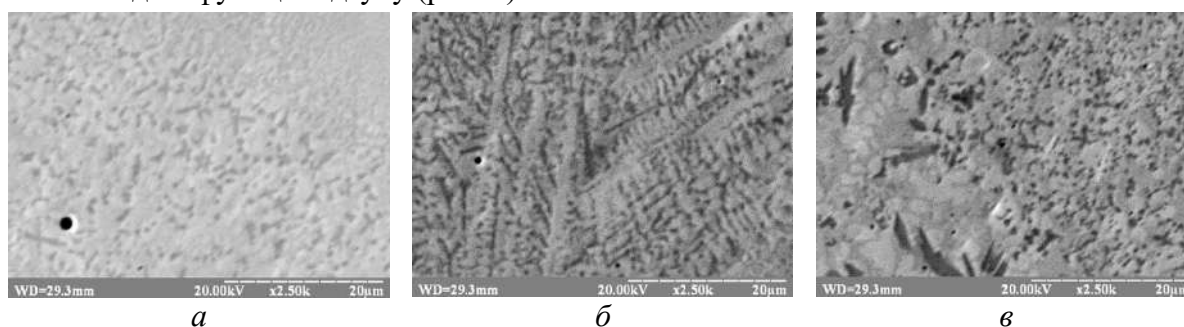


Рис. 3. Мікроаналіз структури сплавлених зразків:

а – масова витрата порошкової композиції 0,2 г/с, швидкість переміщення підложки 1 мм/с; б – масова витрата порошкової композиції 0,3 г/с, швидкість переміщення підложки 2 мм/с; в – масова витрата порошкової композиції 0,4 г/с, швидкість переміщення підложки 3 мм/с

Мікроструктурний аналіз проводився на електронному растровому мікроскопі «РЭМ106-И». Досліджувана площа мікروشліфа становила  $1 \times 0,75$  мм (Ш×В) при оптичному збільшенні 2000 крат. Як видно з фотографічного матеріалу, найкращі показники якості внутрішньої мікроструктури зображено на рис. 3, що відповідає графічній залежності (рис. 2, а). Саме при таких параметрах керування технологічним процесом експериментально доведено ефективність використання статичного магнітного поля як додаткового джерела енергії в зоні лазерної обробки при реалізації технології DMLS. Статичне магнітне поле дозволяє підвищити рівень дисперсної фази у фокусі газопорошкового струменя під час лазерного впливу на порошок тим самим збільшити щільність сплавлення.

**Висновки.** Дослідження представлені в даній роботі дозволили встановити оптимальні режими процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу AlSi10Mg, які забезпечують максимальну якість внутрішньої мікроструктури сплавлених зразків з показниками пористості  $P \approx 1,2$  % (відсоткове значення порожніх фрагментів).

Було отримано математичну модель функції відгуку пористості внутрішньої мікроструктури сплавлених примітивів, яка в подальшому може бути використана як визначення оптимальних параметрів режиму обробки, спрямованих на підтримку постійного рівня якості майбутніх виробів.

Підтверджена адекватність теоретичних розрахунків о можливості використання математичних моделей процесу лазерного сплавлення порошкового матеріалу для подальшого використання їх при реалізації технології DMLS.

#### Список використаних джерел

1. Additive manufacturing and postprocessing of Ti-6Al-4V for superior mechanical properties / M. Qian, W. Xu, M. Brandt, H. Tang. // MRS Bulletin. – 2016. – Vol. 41(10). – Pp. 775-783.

2. Selective laser melting 3D printing of Ni-based superalloy: understanding thermodynamic mechanisms / M. Xia, D. Gu, G. Yu, D. Dai, H. Chen, Q. Shi // *Sci. Bull.* – 2016. – Vol. 61. – Pp. 1013-1022.
3. Brandl E. Additive manufactured AlSi10Mg samples using selective laser melting (SLM): microstructure, high cycle fatigue, and fracture behavior / Erhard Brandl, Ulrike Heckenberger, Vitus Holzinger, Damien Buchbinder // *Materials and design.* – 2012. – Vol. 34. – Pp. 159-169.
4. Strength and strain hardening of a selective laser melted AlSi10Mg alloy / B. Chen, S. Moon, X. Yao, G. Bi, J. Shen, J. Umeda, K. Kondoh // *Scripta Materialia.* – 2017 – Vol. 141. – Pp. 45-49.
5. Waheed Ul Haq Syed. Combined wire and powder feeding laser direct metal deposition for rapid prototyping / Waheed Ul Haq Syed, A.J. Pinkerton, Lin Li. – San Francisco : Proceedings of International Congress “ICALEO'2004”, 2004.
6. Кондрашев П. В. Моделирование газодинамики порошковой струи при реализации технологии «RAPID PROTOTYPING» / П. В. Кондрашев // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий.* – 2013. – № 65. – С. 4-10.
7. Experimental evidence for liquid/solid interface instability caused by the stress in the solid during directional solidification under a strong magnetic field / X. Li, Y. Zhang, Y. Fautrelle, Z. Ren, C. Esling // *Scripta Materialia.* – 2009. – Vol. 60. – Pp. 489-492.
8. Effect of an axial high magnetic field on Sn dendrite morphology of Pb-Sn alloys during directional solidification / D. Du, L. Hou, A. Gagnoud, Z. Ren, Y. Fautrelle, G. Cao, X. Li // *Journal of Alloys and Compounds.* – 2014. – Vol. 588. – Pp. 190-198.
9. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М. : Наука, 1980. – 304 с.
10. Du Numerical simulation and parametric analysis of selective laser melting process of AlSi10Mg powder / P. Wei, Z. Wei, Z. Chen, J. Li, S. Zhang, J. // *Applied Physics A: Materials Science & Processing.* – 2017. – Vol. 123. – Pp. 540.

### References

1. Qian, M., Xu, W., Brandt, M., Tang, H. (2016). Additive manufacturing and postprocessing of Ti-6Al-4V for superior mechanical properties. *MRS Bulletin*, 41, 775-784.
2. Xia, M., Gu, D., Yu, G., Dai, D., Chen, H., Shi, Q. (2016). Selective laser melting 3D printing of Ni-based superalloy: understanding thermodynamic mechanisms. *Sci. Bull.*, 61, 1013-1022.
3. Brandl, E., Heckenberger, U., Holzinger, V., Buchbinder, D. (2012). Additive manufactured AlSi10Mg samples using selective laser melting (SLM): microstructure, high cycle fatigue, and fracture behavior. *Materials and design*, 34, 159-169.
4. Chen, B., Moon, S., Yao, X., Bi, G., Shen, J., Umeda, J., Kondoh, K. (2017). Strength and strain hardening of a selective laser melted AlSi10Mg alloy. *Scripta Materialia*, 141, pp. 45-49.
5. Waheed Ul Haq Syed, Pinkerton, A.J., Lin, Li. (2004). *Combined wire and powder feeding laser direct metal deposition for rapid prototyping.* San Francisco: Proceedings of International Congress “ICALEO'2004”.
6. Kondrashev, P.V. (2013). Modelirovanie gazodinamiki poroshkovoï strui pri realizatsii tekhnologii «RAPID PROTOTYPING» [Simulation of powder jet gas dynamics in the implementation of the RAPID PROTOTYPING technology]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern European Journal of Advanced Technologies*, (65), 4-10.
7. Li, X., Zhang, Y., Fautrelle, Y., Ren, Z., Esling, C. (2009). Experimental evidence for liquid/solid interface instability caused by the stress in the solid during directional solidification under a strong magnetic field. *Scripta Materialia*, 60, 489-492.
8. Du, D., Hou, L., Gagnoud, A., Ren, Z., Fautrelle, Y., Cao, G., Li, X. (2014). Effect of an axial high magnetic field on Sn dendrite morphology of Pb-Sn alloys during directional solidification. *Journal of Alloys and Compounds*, 588, 190-198.
9. Novik, F.S., Arsov, Ya. (1980). *Optimizatsiya protsessov tekhnologii metallov metodami planirovaniia eksperimentov [Optimization of metal technology processes by methods of planning experiments]*. Nauka.
10. Wei, P., Wei, Z., Chen, Z., Li, J., Zhang, S., Du, J. (2017). Numerical simulation and parametric analysis of selective laser melting process of AlSi10Mg powder. *Applied Physics A: Materials Science & Processing*, 123, 540.

Отримано 14.03.2023

**Pavlo Kondrashev**

PhD, Assistant Professor of the department Laser System and Advanced Technologies  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)  
E-mail: [kondrashev@ukr.net](mailto:kondrashev@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7428-710X>. ResearcherID: [AAK-5011-2020](https://orcid.org/AAK-5011-2020)

**INFLUENCE OF THE MAGNETIC FIELD ON THE QUALITY OF INTERNAL MICROSTRUCTURE DURING LASER FUSION OF POWDER**

*The fast development of scientific and technical progress pushes the scientific community to search for alternative solutions and approaches for obtaining details using non-traditional technologies. One of the most common nowadays are additive technologies, better known as 3D printing from various powdered materials.*

*When planning technological processes, in front of the developers always have relevant tasks which aimed to increasing the efficiency of the implementation of the 3D technology process, also improving the technological equipment. The main efforts are aimed at improving the quality indicators of the internal structure of alloyed products.*

*The aim of this work is to improve the quality of the internal microstructure of fused primitives from the AlSi10Mg powder composition, due to the addition of a static magnetic field to the laser processing zone when implementing the DMLS technology.*

*Taking into account the high complexity of physical processes and the large number of technological factors that affect the implementation of DMLS technology, the methods of mathematical statistics that have proven themselves well for solving this kind of tasks. When studying the effect of a static magnetic field on the focal area of a gas-powder flow, the optimal control parameters for the process of laser fusion of experimental samples from the AlSi10Mg powder composition were established.*

*In this work, the effect of a static magnetic field on the microstructure of the AlSi10Mg powder composition was investigated. The results showed that the applied magnetic field leads to an increase in the relative density (a decrease in the porosity of the internal microstructure and a decrease in the spacing between dendrites in the treated material. In addition, with an increase in the intensity of the magnetic field, the share of grains with a columnar morphology decreases, and the share of equiaxed grains increases.*

**Key words:** static magnetic field; coaxial nozzle; laser fusion; powder composition.

Fig.: 3. Table: 3. References: 10.

**Сергій Лапковський<sup>1</sup>, Людмила Данилова<sup>2</sup>, Володимир Фролов<sup>3</sup>,  
Василь Приходько<sup>4</sup>, Максим Гладський<sup>5</sup>, Юрій Адаменко<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: [Lapkovsky@ukr.net](mailto:Lapkovsky@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. ResearcherID: [HCH-3837-2022](https://orcid.org/HCH-3837-2022)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: [ldanylova@outlook.com](mailto:ldanylova@outlook.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-3959>. ResearcherID: [ADU-9265-2022](https://orcid.org/ADU-9265-2022)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: [v.k.frolov@gmail.com](mailto:v.k.frolov@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. ResearcherID: [ACH-0071-2022](https://orcid.org/ACH-0071-2022)

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: [privas@bigmir.net](mailto:privas@bigmir.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. ResearcherID: [HDM-7277-2022](https://orcid.org/HDM-7277-2022)

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: [gladsky@gmail.com](mailto:gladsky@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4547-7131>. ResearcherID: [Q-1624-2017](https://orcid.org/Q-1624-2017)

<sup>6</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин  
Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського” (Київ, Україна)

E-mail: [yuriy.adamenko@ukr.net](mailto:yuriy.adamenko@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4232-3206>. ResearcherID: [ACT-0127-2022](https://orcid.org/ACT-0127-2022)

## ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ОПЕРАЦІЙ ПЛУНЖЕРНОГО ФРЕЗЕРУВАННЯ

Фрезерні операції є одними із найпродуктивніших та найпоширеніших способів металооброблення. З позицій надання заготовці потрібної конфігурації ці операції являють собою найбільш універсальний метод оброблення. Нині все більшого поширення набувають операції плунжерного фрезерування. Плунжерне фрезерування застосовується саме тоді, коли використання традиційних методів неможливе через надмірні вібрації. У статті наведені рекомендації, яких необхідно дотримуватися при виконанні технологічної операції плунжерного фрезерування. Запропонована схема виконання траєкторії руху плунжерної фрези в тому випадку, коли використовується САМ-система не підтримує виконання операцій плунжерного фрезерування.

**Ключові слова:** фрезерування; фреза; плунжерне; оброблення; САМ-система; траєкторія руху.

Рис.: 14. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** На теперішній час фрезерування є одним із розповсюджених і найпродуктивніших способів металооброблення [1; 2]. З позицій надання заготовці бажаної конфігурації ці технологічні операції являють собою найбільш універсальний метод оброблення [1; 3]. До фрезерних операцій відносять: профільне фрезерування, торцеве фрезерування, фрезерування карманів, уступів та пазів (плунжерне фрезерування, у тому числі [1; 4]), різьбофрезерування, зубофрезерування, вихрове нарізання різьби тощо (рис. 1). Нині дедалі більшого поширення набувають технологічні операції плунжерного фрезерування (рис. 2). Слід зазначити, що слово «плунжерне» має походження від англійського слова «plunge», що перекладається як «пірнати», «занурюватися» тощо.

**Постановка проблеми.** Виконання операцій плунжерного фрезерування кардинально відрізняється від виконання операцій традиційного фрезерування [4]. Під час плунжерного фрезерування оброблення здійснюється не периферійною, а торцевою частиною різального інструмента. Це істотно перерозподіляє напрямки зусиль різання з радіальних на осьові, що зменшує ризик відтискання різального інструмента та виникнення вібрацій (рис. 3) [4].

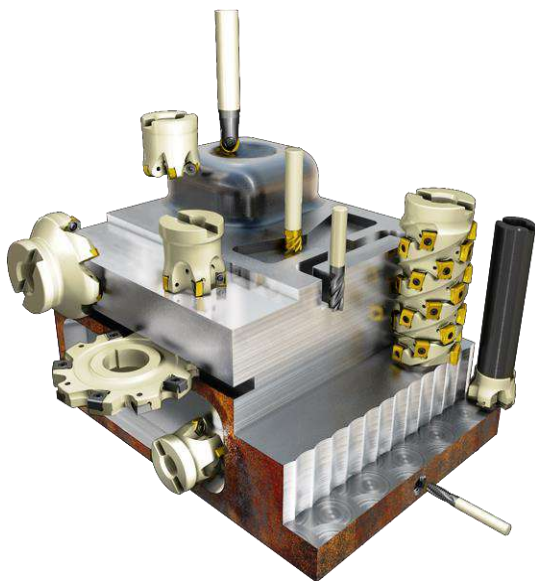


Рис. 1. Різновиди фрезерування [5]

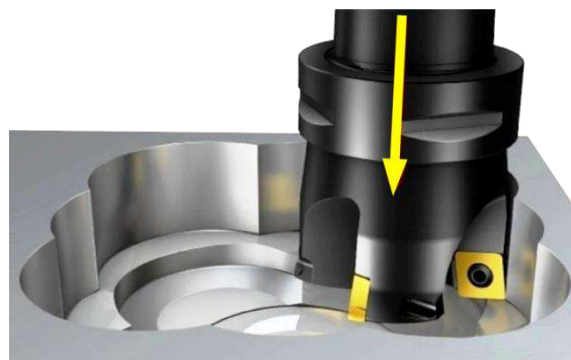


Рис. 2. Плу́нжерне фрезерування [5]

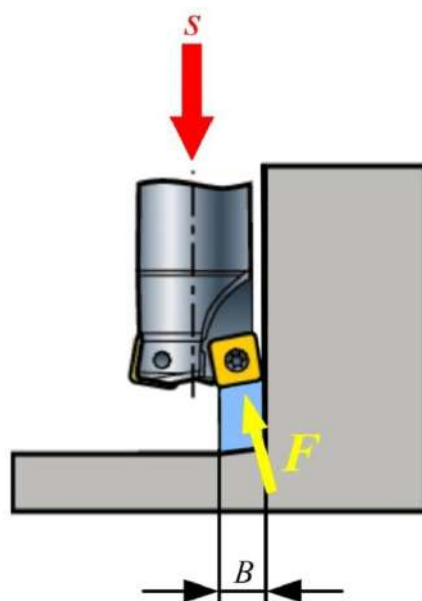


Рис. 3. Перерозподіл напрямків зусиль різання при плунжерному фрезеруванні  
Джерело: розроблено авторами.

Операції плунжерного фрезерування використовуються в тих випадках, коли застосування традиційних способів металооброблення неможливе через надмірні вібрації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Перевагами операцій плунжерного фрезерування є його застосування за наступних умов [4–10]:

- 1) при значенні вильоту фрези більше, ніж 4 діаметри останньої;
- 2) при недостатній жорсткості фрезерного верстата;
- 3) при недостатньому крутному моменті фрезерного верстата;
- 4) при недостатній потужності фрезерного верстата;
- 5) при операціях напівчистового оброблення глибоких закритих пазів, кутів, вибірок, карманів тощо (рис. 4);
- 6) під час оброблення важкооброблюваних матеріалів, наприклад, титану.

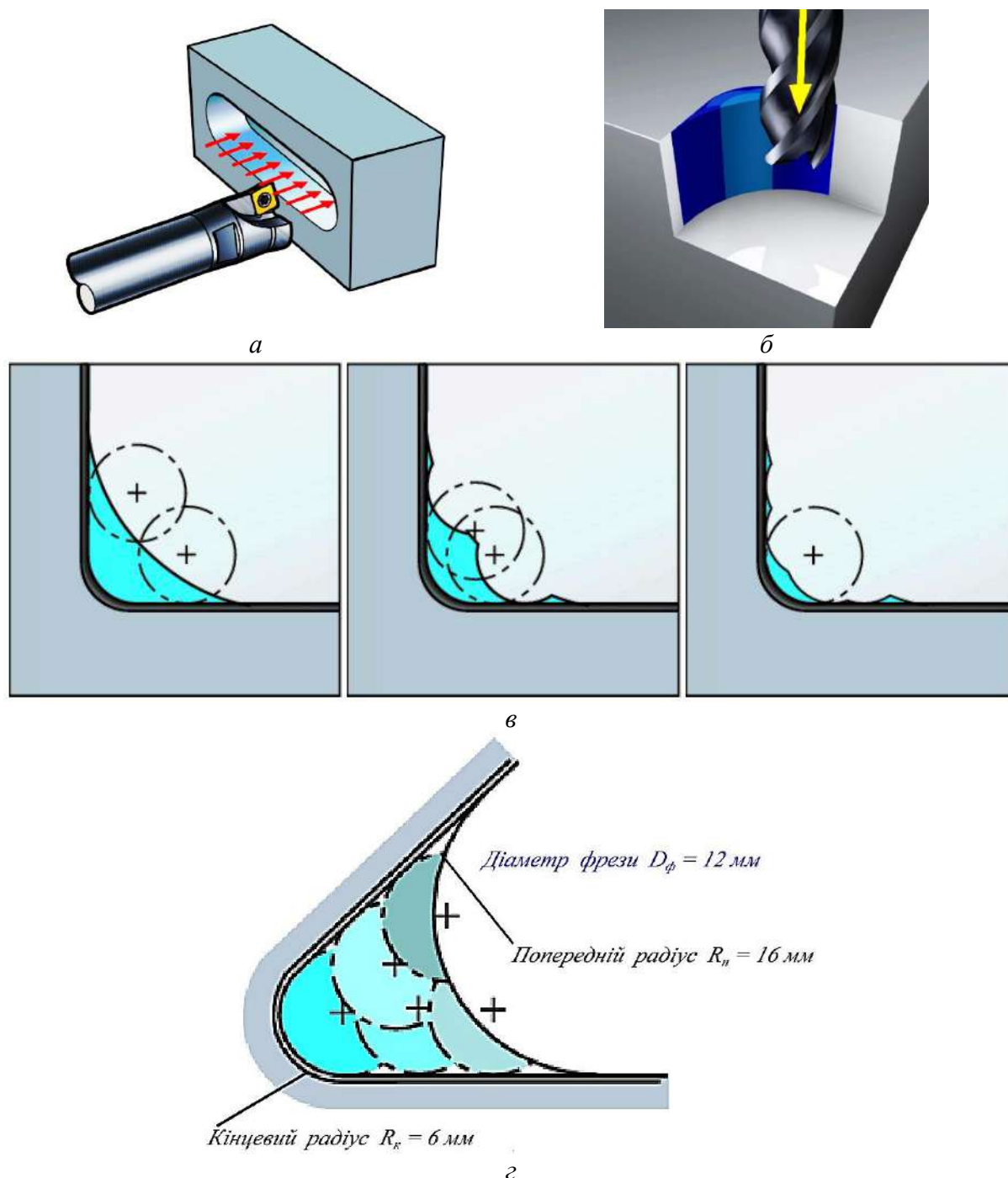


Рис. 4. Оброблення карманів, глибоких закритих пазів і кутів плунжерним фрезеруванням: а – схема оброблення паза; б – загальна схема оброблення кута; в – схема оброблення прямого кута; з – схема оброблення гострого кута  
Джерело: розроблено авторами.

До недоліків операцій плунжерного фрезерування, слід навести передусім такі:

- 1) обмежена продуктивність;
- 2) необхідність періодичного виведення різального інструмента в процесі різання;
- 3) необхідність подальшого чистового оброблення;
- 4) труднощі видалення стружки;
- 5) досить обмежена номенклатура різального інструмента;
- 6) виникнення хвилястих кромek, що можуть призводити до значних зусиль при зачистці під час напівчистового проходу перед чистовим обробленням (рис. 5).



Рис. 5. Виникнення хвилястих кромки при плунжерному фрезеруванні [5]

Споживана потужність різання для плунжерного фрезерування визначається згідно з формулою [1; 4]:

$$N = \frac{D_{\phi} \cdot B \cdot s_{x\phi} \cdot F_n}{60 \cdot 10^6}, \quad (1)$$

де  $N$  — величина споживаної потужності, кВт;

$D_{\phi}$  — значення діаметра фрези, мм;

$B$  — значення ширини фрезерування, мм;

$s_{x\phi}$  — значення хвилинної подачі, мм/хв;

$F_n$  — величина питомої сили різання, Н/мм<sup>2</sup> (величина сили різання, необхідної для видалення шару металу перерізом 1 мм<sup>2</sup>).

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Слід зазначити, що умови, за яких використання операцій плунжерного фрезерування було б доцільним і оптимальним, ще не достатньо досліджені. Також існує декілька питань підтримки операцій плунжерного фрезерування різними САМ-системами.

**Метою статті** є визначення рекомендацій, яких необхідно обов'язково дотримуватися під час виконання операцій плунжерного фрезерування та можливості використання будь-якої САМ-системи для забезпечення якісного виконання операцій плунжерного фрезерування. Для останнього необхідно здійснити перевірку на підтримку САМ-системою двох таких вимог:

1) вимога існування підтримки плунжерного 3D-фрезерування: або 3D-фрезерування використовується для всіх завдань, або 3D-фрезерування може бути використано тільки у випадку оброблення плоского дна порожнини;

2) вимога відведення фрези від стінок при виведенні останньої з порожнини – ця функція має змогу зменшувати вібрації та збільшити термін служби фрези на 10...15 %.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз літературних джерел за темою статті [4–10] та систематизація отриманої інформації дозволили сформулювати низку рекомендацій, яких необхідно обов'язково дотримуватися під час виконання операцій плунжерного фрезерування:

– горизонтальне положення шпинделя фрезерного верстата полегшує видалення стружки; це означає, що технологічні операції плунжерного фрезерування краще виконувати на горизонтально-фрезерних верстатах;

– оброблення необхідно починати від дна вибірки з поступовим підйомом (рис. 6);

– для полегшення видалення стружки рекомендується застосовувати стиснене повітря або мастильно-охолоджуючі технологічні засоби;

– у порівнянні із традиційними способами фрезерування значення подачі на зуб  $S_z$  фрези для плунжерного фрезерування повинно бути меншим;

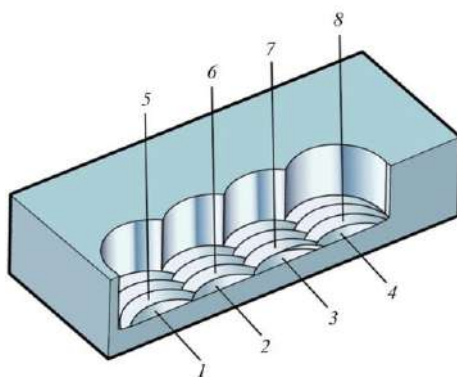


Рис. 6. Оброблення вибірки від дна з поступовим підняттям різального інструменту при плунжерному фрезеруванні [5]

- необхідно, щоб під час різання у процесі видалення металу брали участь щонайменше два зуби фрези;
- необхідно використовувати плунжерні фрези з найменшим кроком зубів;
- слід використовувати максимальну ширину фрезерування  $B$  – залежно від розміру різальної пластини (рис. 3, 7);
- для запобігання повторного процесу різання на зворотному ході рекомендується використовувати функцію «відводу»: в кінці робочого проходу слід здійснювати відведення плунжерної фрези на 1 мм від стінки вибірки (рис. 8);
- рекомендується забезпечувати крок переміщення фрези в боковому напрямку  $S = 0,5 \cdot D_{\phi}$  за умови  $L \geq 4 \cdot D_{\phi}$  та  $S = 0,75 \cdot D_{\phi}$  за умови  $L < 4 \cdot D_{\phi}$  (де  $D_{\phi}$  – діаметр плунжерної фрези,  $L$  – значення вильоту плунжерної фрези) (рис. 9);
- для зменшення вібрацій необхідно поступово зменшувати глибину різання;
- під подальшу фінішну операцію завжди необхідно залишати постійне значення припуску.

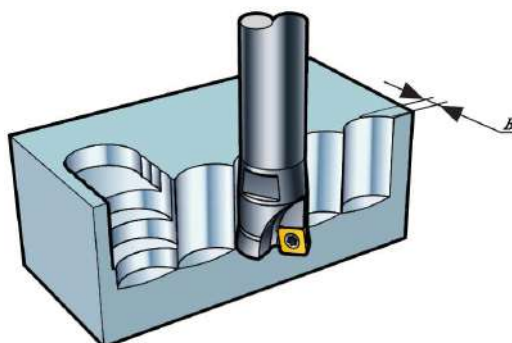


Рис. 7. Ширина фрезерування при плунжерному фрезеруванні [5]

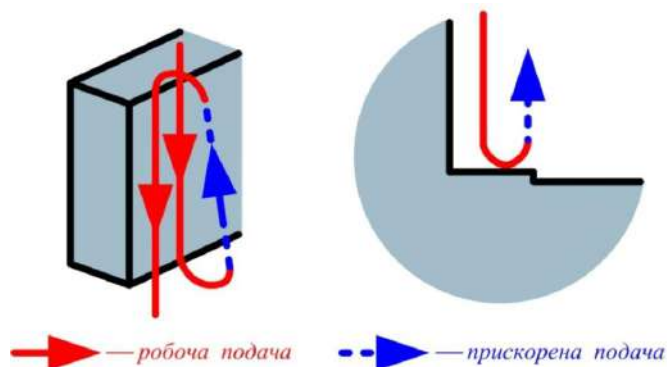


Рис. 8. Відведення плунжерної фрези для запобігання повторного різання  
Джерело: розроблено авторами.



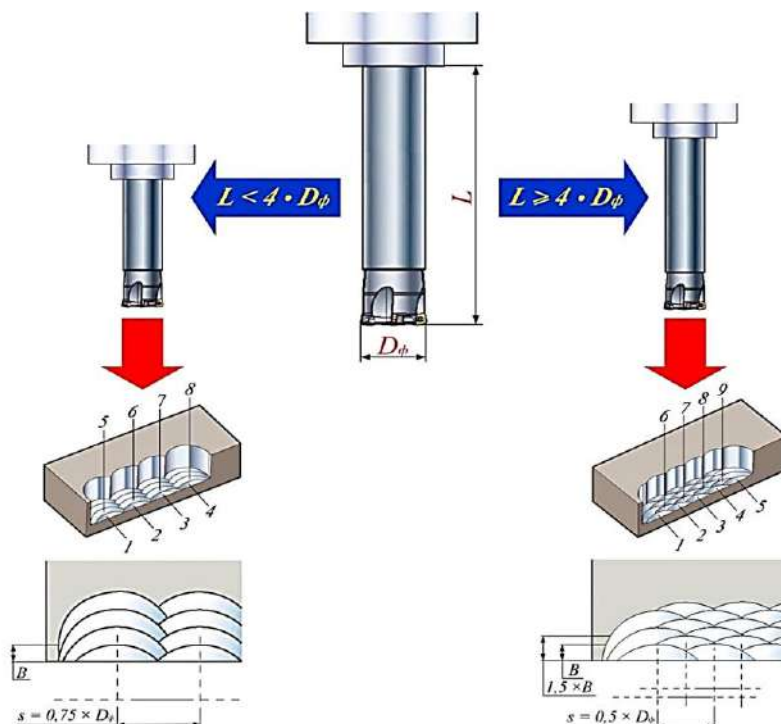


Рис. 9. Рекомендований крок переміщення плунжерної фрези в боковому напрямку  
Джерело: розроблено авторами.

Також слід зазначити, що максимальна ширина різання  $B$  при плунжерному фрезеруванні залежить від розміру різальної пластини  $iC$  та від величини вильоту фрези (табл. 1) [4–10]. Подача на зуб  $S_z$  при плунжерному фрезеруванні також має залежність від розміру пластини  $iC$  (табл. 1) [4–10].

Таблиця 1 – Залежність максимальної ширини різання  $B$  та подачі на зуб  $S_z$  від розміру різальної пластини  $iC$  та величини вильоту фрези

Розмір пластини $iC$ , мм	Максимальна ширина різання $B$ , мм		Подача на зуб $S_z$ , мм/зуб	
	$L < 4 \cdot D_\phi$	$L \geq 4 \cdot D_\phi$	Рекомендоване значення	Діапазон
14	13	12	0,15	0,1 ÷ 0,2
9	8	7	0,1	0,08 ÷ 0,15

Особливо необхідно виділити той факт, що дотепер не всі САМ-системи можуть здійснювати підтримку операцій плунжерного фрезерування. У таблиці 2 наведено перелік найпоширеніших САМ-систем, який вказує, підтримує чи ні даний програмний модуль плунжерне фрезерування.

У тих випадках, коли САМ-система не має змоги підтримувати плунжерне фрезерування, пропонується схема забезпечення траєкторії руху плунжерної фрези, яка полягає в наступному:

- 1) формування сітки отворів у межах контуру порожнини або іншої поверхні, що обробляється;
- 2) призначення припуску на чистове оброблення (залежно від складності розміщення отворів у контурі порожнини можливе збільшення припуску оброблення);
- 3) розроблення на основі сітки отворів програмного коду для введення фрези в кожний із отворів згідно з координатами, які задані (за аналогією із розробленням циклів свердління);
- 4) ручне програмування відведення плунжерної фрези від стінок.

Таблиця 2 – Можливість підтримки плунжерного фрезерування САМ-системами

САМ-система	Можливість підтримки плунжерного фрезерування
Alphacam	не підтримує
BobCAD	підтримує
CamBam	не підтримує
Camworks	підтримує
Edgecam	підтримує
Esprit	підтримує
FeatureCAM	не підтримує
Fusion360	не підтримує
GibbsCam	підтримує
HSMWorks	не підтримує
Hypermill	підтримує
Mastercam	підтримує
OneCNC	підтримує
PowerMill	підтримує
Siemens NX	підтримує
SolidCAM	підтримує
SprutCam	підтримує
SurfCam	підтримує
TopSolid	підтримує
Vetric	не підтримує
VisualMill	підтримує

На рис. 10 – 14 наведено приклад запропонованої схеми забезпечення траєкторії руху плунжерної фрези. На рис. 10 наведено контур оброблюваної порожнини. На цьому етапі слід задати значення припуску на оброблення. Далі потрібно створити коло діаметром, який відповідає діаметру фрези, та розмістити це коло так, щоб воно торкалося меж припуску (рис. 11). Після цього слід створити масив однакових отворів з кроком по координатах  $X$  та  $Y$  (переміщення фрези між проходами) (рис. 12).

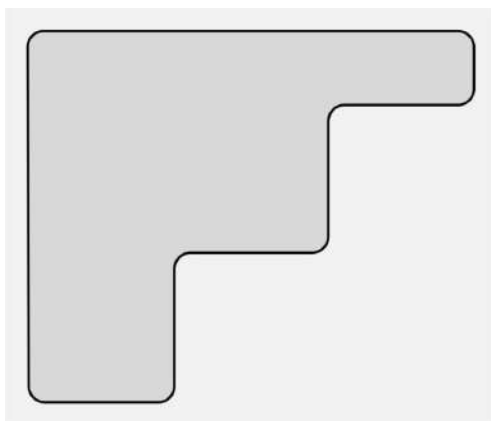


Рис. 10. Призначення припуску на оброблення

Джерело: розроблено авторами.

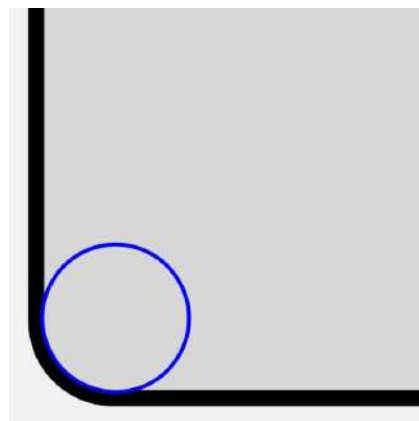


Рис. 11. Створення кола діаметром, який відповідає діаметру фрези, та розміщення його так, щоб воно торкалося меж припуску

Джерело: розроблено авторами.

Надалі потрібно видалити всі зайві отвори, частини яких виходять за межі контуру порожнини (рис. 13).

На останньому етапі необхідно так скорегувати положення залишених отворів, щоб вони торкалися всіх контурів порожнини, які вони перетинають (рис. 14).

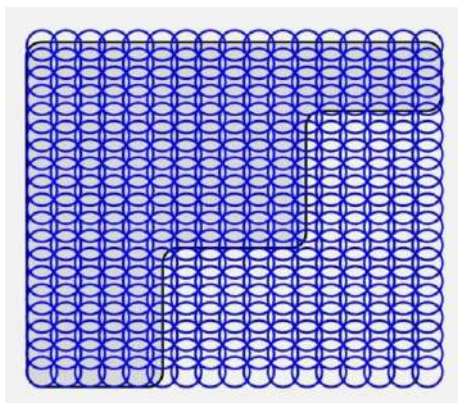


Рис. 12. Створення масиву отворів з кроком по координатах  $X$  та  $Y$   
Джерело: розроблено авторами.

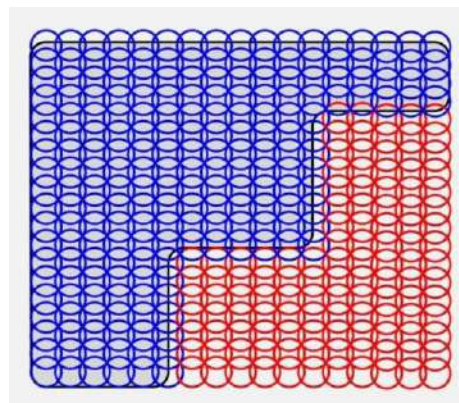


Рис. 13. Видалення всіх отворів, частина яких виходить за межі контуру порожнини  
Джерело: розроблено авторами.

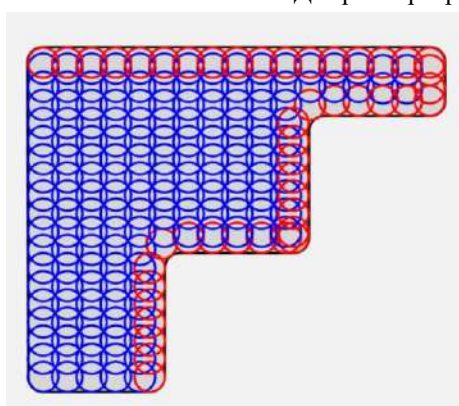


Рис. 14. Корегування положення залишених отворів так, щоб вони торкалися всіх контурів порожнини, які вони перетинають  
Джерело: розроблено авторами.

**Висновки.** Таким чином, з вищенаведеного можна зробити такі висновки:

- 1) виконання операцій плунжерного фрезерування кардинально відрізняється від виконання операцій традиційного фрезерування;
- 2) операції плунжерного фрезерування використовуються в тих випадках, коли використання традиційних методів металооброблення неможливе через надмірні вібрації;
- 3) під час виконання операцій плунжерного фрезерування слід обов'язково дотримуватися низки рекомендацій;
- 4) для використання будь-якої САМ-системи з метою забезпечення якісного виконання операцій плунжерного фрезерування запропоновано схему реалізації траєкторії руху плунжерної фрези.

#### Список використаних джерел

1. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / С. Г. Бондаренко. – Львів: Магнолія 2006, 2014. – 500 с.
2. Дикань В. Л. Технологія машинобудівних підприємств: підручник / В. Л. Дикань, Ю. Є. Калабухін, Н. Є. Каличева. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 387 с.
3. Залюбовський М. Г. Машини та обладнання підприємств: навч. посіб. / М. Г. Залюбовський, В. В. Малишев. – К.: Університет «Україна», 2020. – 120 с.
4. Чікаїз А. Оптимізація вибору плунжерного інструмента [Електронний ресурс] / А. Чікаїз, Л. М. Данилова // Інновації молоді в машинобудуванні: матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції. – 2020. – С. 415–418. – Режим доступу: <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2020/paper/view/21468>.

5. What is successful plunge milling? [Електронний ресурс] / Plunge milling. – Режим доступу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/plunge-milling>.
6. Cutting Conditions and Surface Integrity During Dry Plunge-milling of a Wrought Magnesium Alloy / I. Danis, N. Wojtowicz, F. Monies, P. Lamesle, P. Lagarrigue // *Procedia Engineering*. – 2013. – № 63. – Pp. 36–44. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.213>.
7. Optimal CNC plunge cutter selection and tool path generation for multi-axis roughing free-form surface impeller channel / F.Y. Han, D.H. Zhang, M. Luo, B.H. Wu // *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. – 2014. – № 71(9–12). – Pp. 1801–1810. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5608-y>.
8. Ko Jeong Hoon. Time Domain Prediction of Side and Plunge Milling Stability Considering Edge Radius Effect / Ko Jeong Hoon // *Procedia CIRP*. – 2014. – № 14. – Pp. 153–158. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.077>.
9. Yang Xiao-yu. Research on manufacturing method of CNC plunge milling for spur face-gear / Yang Xiao-yu, Tang Jin-yuan // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2014. – № 214(12). – Pp. 3013–3019. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.07.010>.
10. On cutting parameters selection for plunge milling of heat-resistant-super-alloys based on precise cutting geometry / Zhuang Kejia, Zhang Xiaoming, Zhang Dong, Ding Han // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2013. – № 213(8). – Pp. 1378–1386. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.03.007>.

### References

1. Bondarenko, S.H. (2018). *Osnovy tekhnolohii mashynobuduvannia [Fundamentals of mechanical engineering technology: study guide]*. Mahnoliia 2006.
2. Dykan, V.L., Kalabukhin, Yu.Ie., Kalycheva, N.Ie. (2020). *Tekhnolohiia mashynobudivnykh pidpriemstv [Technology of machine-building enterprises]*. UkrDUZT.
3. Zaliubovskiy, M.H., Malyshev, V.V. (2020). *Mashyny ta obladnannia pidpriemstv [Machines and equipment of enterprises]*. Universytet “Ukraina”.
4. Chikaiz, A., Danylova, L.M. (2020). Optymizatsiia vyboru plunzhernoho instrumenta [Optimizing the choice of a plunger tool]. *Innovatsii molodi v mashynobuduvanni: materialy XIII Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Innovations of youth in mechanical engineering: materials of the XIII International Scientific and Technical Conference* (pp. 415–418). KPI im. Ihoria Sikorskoho. <http://imm-mmi.kpi.ua/imm2020/paper/view/21468>.
5. Plunge milling. (n.d.). *What is successful plunge milling?* <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/plunge-milling>.
6. Danis, I., Wojtowicz, N., Monies, F., Lamesle, P., Lagarrigue, P. (2013). Cutting Conditions and Surface Integrity During Dry Plunge-milling of a Wrought Magnesium Alloy. *Procedia Engineering*. 63, 36–44. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.213>.
7. Han, F.Y., Zhang, D.H., Luo, M., Wu, B.H. (2014). Optimal CNC plunge cutter selection and tool path generation for multi-axis roughing free-form surface impeller channel. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 71(9–12), 1801–1810. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-5608-y>.
8. Ko, Jeong Hoon. (2014). Time Domain Prediction of Side and Plunge Milling Stability Considering Edge Radius Effect. *Procedia CIRP*. 14, 153–158. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.03.077>.
9. Yang, Xiao-yu, Tang, Jin-yuan (2014). Research on manufacturing method of CNC plunge milling for spur face-gear. *Journal of Materials Processing Technology*. 214(12), 3013–3019. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2014.07.010>.
10. Zhuang, Kejia, Zhang, Xiaoming, Zhang, Dong, Ding, Han (2013). On cutting parameters selection for plunge milling of heat-resistant-super-alloys based on precise cutting geometry. *Journal of Materials Processing Technology*. 213(8), 1378–1386. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2013.03.007>.

Отримано 23.01.2023

**Serhii Lapkovsky<sup>1</sup>, Liudmyla Danylova<sup>2</sup>, Volodymyr Frolov<sup>3</sup>, Vasyl Prykhodko<sup>4</sup>,  
Maksym Gladtskyi<sup>5</sup>, Yuriy Adamenko<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [Lapkovsky@ukr.net](mailto:Lapkovsky@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. ResearcherID: [HCH-3837-2022](https://orcid.org/HCH-3837-2022)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [ldanylova@outlook.com](mailto:ldanylova@outlook.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-3959>. ResearcherID: [ADU-9265-2022](https://orcid.org/ADU-9265-2022)

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [v.k.frolov@gmail.com](mailto:v.k.frolov@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3697-286X>. ResearcherID: [ACH-0071-2022](https://orcid.org/ACH-0071-2022)

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [privas@bigmir.net](mailto:privas@bigmir.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. ResearcherID: [HDM-7277-2022](https://orcid.org/HDM-7277-2022)

<sup>5</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [gladsky@gmail.com](mailto:gladsky@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4547-7131>. ResearcherID: [Q-1624-2017](https://orcid.org/Q-1624-2017)

<sup>6</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of machine design  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [yuriy.adamenko@ukr.net](mailto:yuriy.adamenko@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4232-3206>. ResearcherID: [ACT-0127-2022](https://orcid.org/ACT-0127-2022)

## TECHNOLOGICAL FEATURES OF REALIZATION OF PLUNGER MILLING OPERATIONS

*Milling technological operations are one of the most productive and widespread methods of metalworking. From the point of view of providing the blank with the desired configuration, these technological operations represent the most universal method of processing. Technological operations of plunger milling are now becoming more and more widespread. Plunger milling is used precisely when the use of traditional methods is impossible due to excessive vibrations. Performing technological operations of plunger milling is fundamentally different from performing technological operations of traditional milling. The article contains recommendations that must be followed when performing technological operations of plunger milling. The purpose of the article is to determine the possibility of using any CAM-system to ensure high-quality execution of technological operations of plunger milling. To do this, it is proposed to check whether the CAM-system supports two requirements. The article provides a list of the most common CAM-systems, indicating whether a given software module supports plunger milling. The article proposes a scheme for the implementation of the trajectory of the plunger cutter for the use of any CAM-system in order to ensure the high-quality execution of technological operations of plunger milling. This proposed scheme consists of four main stages. The first stage of the proposed scheme consists of the formation of an array of holes within the contour of the cavity or other surface being processed. The essence of the second stage of the proposed scheme is to determine the value of the allowance for finishing (depending on the complexity of placing the holes in the contour of the cavity, it is possible to increase the allowance for processing). The third stage of the proposed scheme consists in developing, based on the array of holes that was formed in the first stage, the software code for inserting a cutter into each of the holes in accordance with the coordinates that are specified (by analogy with the development of drilling cycles). The essence of the fourth stage of the proposed scheme is to manually program the removal of the plunger cutter from the walls of the cavity or other surface being processed.*

**Keywords:** milling; milling cutter; plunger; processing; CAM system; trajectory of movement.

*Fig.: 14. References: 10.*

**Станіслав Швець**

кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій машинобудування та металорізальних верстатів  
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: [shvetssta@gmail.com](mailto:shvetssta@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0355-0166>. ResearcherID: [HOH-8329-2023](https://orcid.org/0000-0003-0355-0166)

**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПОДАЧІ І ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ**

На основі аналізу геометрії утворення висоти шорсткості обробленої поверхні в роботі представлено методику аналітичного розрахунку подачі при визначенні параметрів режиму різання. Уперше запропоновано загальний підхід, який пов'язує значення подачі й параметр шорсткості поверхні  $Rz$ . Створені аналітичні залежності й алгоритм застосування тієї з них, яка відповідає конкретній ситуації. Запропонована математична модель визначення оптимального значення швидкості різання. Запропонована математична модель визначення оптимального значення швидкості різання з урахуванням роботи зношування леза.

**Ключові слова:** глибина різання; подача; швидкість різання; робота зношування леза; параметр шорсткості.

Рис.: 4. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** Параметри режиму різання відіграють важливу роль у забезпеченні стійкості різальних інструментів, якості й собівартості виробів. Тому визначення їхніх оптимальних значень є першочерговим завданням при розробленні технологічного процесу, а отже, тема дослідження актуальна.

**Постановка проблеми.** При проектуванні технологічних процесів обробки металів неодмінно постає завдання вибору значень глибини різання, подачі та швидкості різання. На цей час глибину різання і подачу призначають на підставі наявного досвіду залежно від вимог до якості обробленої поверхні. Після цього, враховуючи ці параметри й рекомендовані граничні значення практично визначають швидкість різання. Проблемою є відсутність аналітичних виразів для розрахунків подачі й номінальних значень швидкості різання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес точіння, залежно від вимог до якості обробленої поверхні, складається з різних операцій. Є чорнова, напівчистова і чистова [1; 2]. Sandvik Coromant (Coro Guide 13.1.1) [3] пропонує більш розширений спектр таких операцій: екстремальна обробка ( $t = 0,25 - 2$  мм,  $s = 0,05 - 0,15$  мм/об.), оздоблення ( $t = 0,5 - 2$  мм,  $s = 0,1 - 0,3$  мм/об.), середня обробка ( $t = 1,5 - 4$  мм,  $s = 0,2 - 0,5$  мм/об.), легка чорнова обробка ( $t = 3 - 10$  мм,  $s = 0,4 - 1$  мм/об.), чорнова обробка ( $t = 6 - 15$  мм,  $s = 0,5 - 1,5$  мм/об.), важка чорнова обробка ( $t = 8 - 20$  мм,  $s > 0,7$  мм/об.).

Параметри режиму різання ( $v$ ,  $s$ ,  $t$ ) призначаються такими, щоб забезпечити необхідну якість обробленої поверхні й повністю вичерпати працездатність інструмента протягом вибраного періоду його стійкості  $T$ . Межа працездатності на вказаних операціях визначається як величина зношення по задній поверхні  $h_3$ .

Під час чорнового точіння вуглецевої сталі твердосплавним різцем допустиме зношення по задній поверхні досягає  $h_3 = 1,4$  мм, під час напівчистої обробки  $h_3 = 1$  мм, а чистової  $h_3 = 0,4$  мм [1]. Тому лезо, яке використовується на одній із згаданих операцій, характеризується величиною роботи зношення для досягнення граничного значення  $h_3$ .

Отже, якщо  $h_3$  залежить від операції, то тоді, враховуючи рекомендації [1], градацію величини зношення по задній поверхні для уявлень Sandvik Coromant можна записати як: extreme finishing –  $h_3 = 0,2$  мм, finishing –  $h_3 = 0,4$  мм, medium machining –  $h_3 = 0,6$  мм, light roughing –  $h_3 = 0,8$  мм, roughing –  $h_3 = 1,1$  мм, heavy roughing –  $h_3 = 1,4$  мм.

Порівнюючи рекомендації [1] і [3] можна визначити інтервали глибини різання і подачі для чорнкової обробки ( $t = 6 - 20$  мм,  $s = 0,5 - 1,5$  мм/об.), для напівчистої обробки ( $t = 1,5 - 10$  мм,  $s = 0,2 - 1$  мм/об.), для чистової ( $t = 0,25 - 2$  мм,  $s = 0,05 - 0,3$  мм/об.). Відповідно до допустимої величини зношення визначається і гранична робота стружкоутворення, яка виконується протягом періоду стійкості. Щоб забезпечити призначений період стійкості при визначених значеннях  $t$  і  $s$  встановлюється швидкість різання.

Математичні залежності між параметрами режиму різання емпіричні, тому аналіз пропонує різними фірмами значень вказує на значні розбіжності [1; 3-8]. У межах графіка функції  $N = f(t, s)$ , відповідно до відомої залежності для визначення роботи в системі різання  $A = Pz \cdot v \cdot T$ , його поверхня повинна бути паралельною до координатної площини  $ts$  площиною. Але в дійсності графіки побудовані за рекомендаціями різних фірм відхиляються від таких теоретичних висновків (рис. 1).

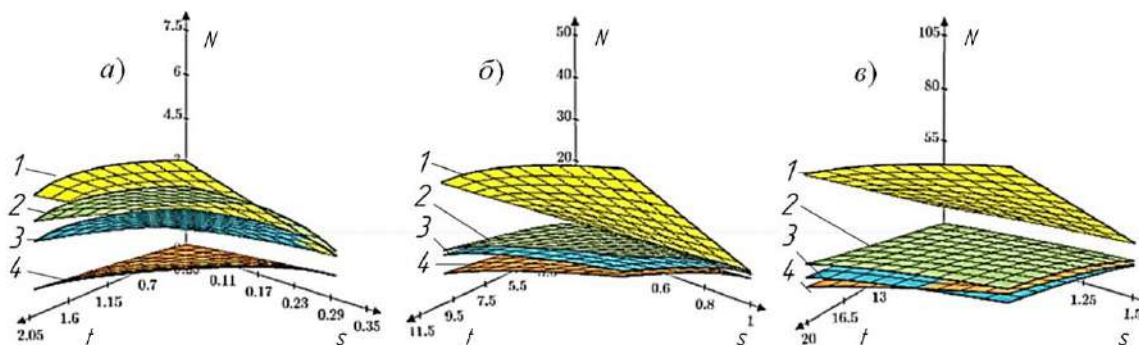


Рис. 1. Залежність потужності різання від глибини різання і подачі за даними Sandvik Coromant (1), Iscar (2), «Нормативів режиму різання» (3), Kyocera (4): а – чистова операція; б – напівчистова операція; в – чорнова операція

Найбільші розбіжності на чистовій операції (рис. 1, а) під час точіння сталі 1045 AISI/SAE твердим сплавом за використанням P1. Досить непогано збігаються рекомендації «Нормативів режиму різання», Iscar, Kyocera для напівчистої і чорнової операцій (рис. 1, б, в).

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням вибору параметрів режиму різання приділяється велика увага. Проте аналітичних методів для визначення подачі та швидкості різання не створено.

**Метою статті** є підвищення точності визначення параметрів режиму різання на підставі використання математичних залежностей.

**Виклад основного матеріалу.** При визначенні параметрів режиму різання, глибину різання встановлюють відповідно до величини припуску й точності обробки. А подачу можна розрахувати, враховуючи забезпечення необхідної шорсткості.

Подача та геометрія леза створюють висоту залишкового гребеня, яка збільшується (утворюючи висоту нерівностей профілю  $Rz$ ) за рахунок утворення на ній наросту, а також поглиблення результуючої нерівності зі зменшенням радіуса кривини лінії ковзання, по якій відбувається відрив стружки від заготовки [9]. Але якщо не враховувати вплив пластичної деформації, то подачу для забезпечення потрібного значення  $Rz$  (при відомих радіусу при вершині  $r$ , головного та допоміжного кутів у плані  $\varphi$  і  $\varphi'$ ) можна визначити з виразів:

$$s = Rz(1/\tan\varphi + 1/\tan\varphi') - r(((\cos\varphi - 1))/\sin\varphi + ((\cos\varphi' - 1))/\sin\varphi'). \quad (1)$$

$$s = 2\sqrt{2 \cdot r \cdot Rz - Rz^2}. \quad (2)$$

$$s = r \sin\varphi - (-r \cos\varphi - Rz) \cot\varphi + \sqrt{r^2 (\sin\varphi)^2 - (r - r \cos\varphi - Rz)^2 - 2r \cos\varphi (r - r \cos\varphi - Rz)} \quad (3)$$

$$s = r \sin\varphi' - (r - r \cos\varphi' - Rz) \cot\varphi' + \sqrt{r^2 (\sin\varphi')^2 - (r - r \cos\varphi' - Rz)^2 - 2r \cos\varphi' (r - r \cos\varphi' - Rz)}. \quad (4)$$

Формулу для розрахунку обирають з урахуванням співвідношення ординат точок переходу допоміжної та головної різальних кромek в дугу радіуса  $r$ :  $z_a = r(1 - \cos\varphi)$ ,  $z_b = r(1 - \cos\varphi')$  і параметра  $Rz$ . Якщо  $z_a < Rz$  і  $z_b < Rz$  (рис. 2, а) – формула (1). Якщо  $z_a > Rz$  і  $z_b > Rz$  (рис. 2, б) – формула (2). Якщо  $z_a > Rz$  і  $z_b < Rz$  (рис. 2, в) – формула (3). Якщо  $z_a < Rz$  і  $z_b > Rz$  (рис. 2, г) – формула (4). Алгоритм визначення подачі наведений на рисунку 3.

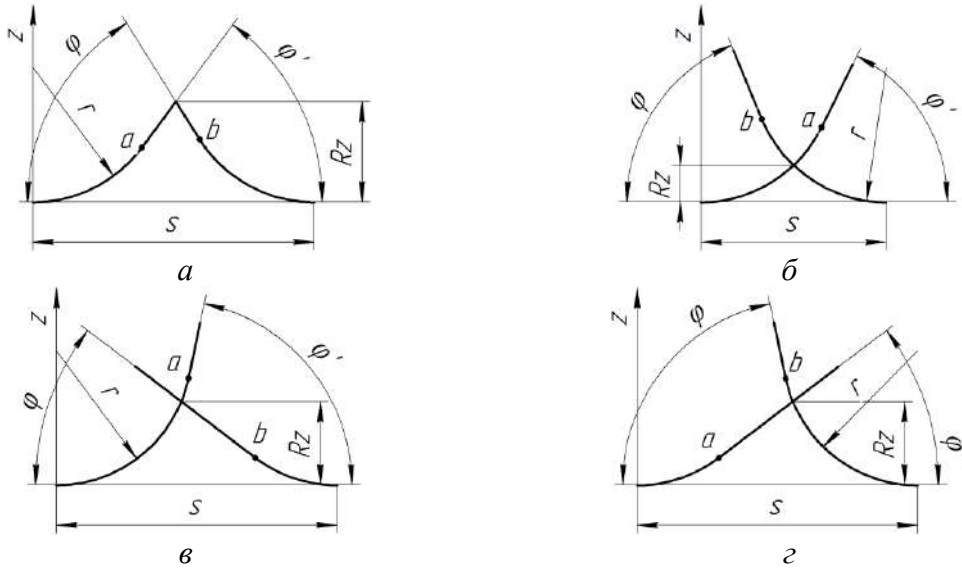


Рис. 2. Схеми утворення параметра шорсткості

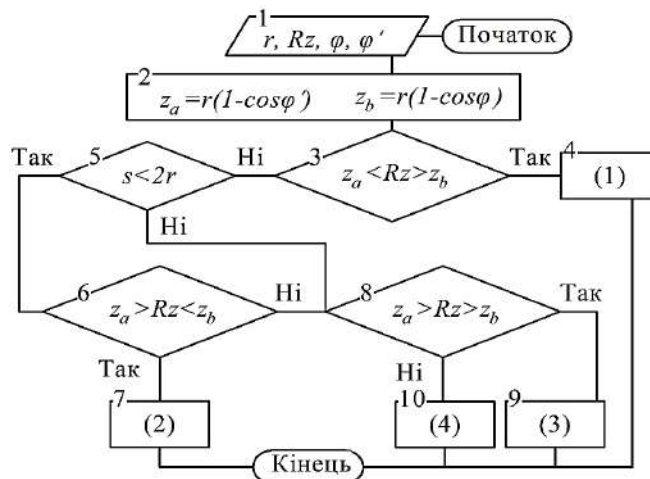


Рис. 3. Алгоритм визначення подачі

З усіх елементів системи різання тільки лезо є постійно навантаженим тілом. Стружка в кожний момент часу формується з нових об'ємів, що надходять із припуску. Напружено-деформований стан цих об'ємів короткочасний і змінюється в періоді контакту стружки з передньою поверхнею леза.

Тому життєвий цикл системи різання визначається лише стійкістю різального леза. Якщо в результаті тертя або повзучості лезо настільки змінює свою форму, що не здатне виконувати функцію різання, то роботу зовнішніх сил, яка призвела до таких наслідків, можна назвати критичною, або граничною.

Причому, вичерпання ресурсу працездатності інструменту не залежить від умов різання. Справедливість цього твердження експериментально перевірена при точінні сталі ШХ-15 пластинами марки ТН-20 (SNMM120404). При різних параметрах режиму різання встановлена робота  $A$ , при виконанні якої в експерименті було отримано кожне значення зношення  $h_z$ . Робота визначалася за відомим виразом

$$A = Rz \cdot V \cdot \tau.$$



Встановлено, що цілком певне значення зношення після різної тривалості різання з різними режимами, відповідає конкретному значенню роботи (рис. 4).

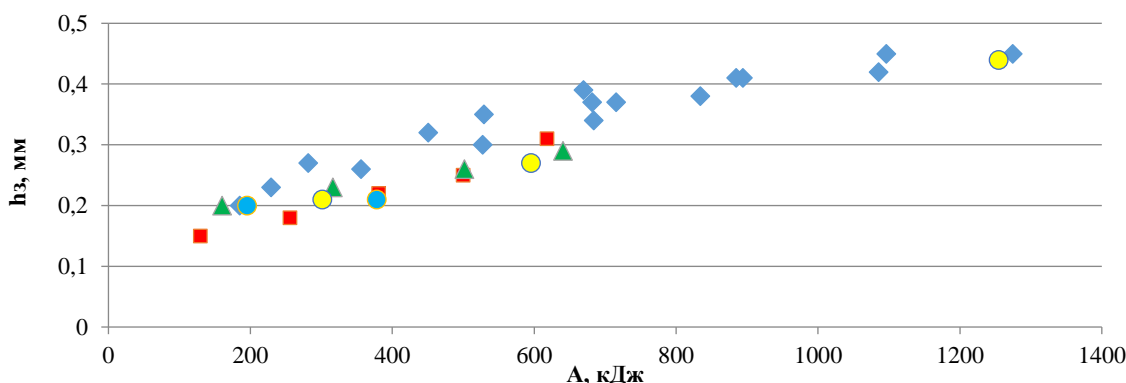


Рис. 4. Зношування леза залежно від роботи зовнішніх сил при різних параметрах режиму різання:

- ◆ -  $v=1,97 - 4,45$  м/с,  $s=0,07$  мм/об,  $t=0,1$  мм;
- -  $v=2,75 - 2,87$  м/с,  $s=0,09$  мм/об,  $t=0,1$  мм;
- ▲ -  $v=2,3 - 2,58$  м/с,  $s=0,12$  мм/об,  $t=0,1$  мм;
- -  $v=2,66 - 2,74$  м/с,  $s=0,14$  мм/об,  $t=0,1$  мм;
- -  $v=2,4 - 2,7$  м/с,  $s=0,07$  мм/об,  $t=0,2$  мм

Оскільки руйнація в інструментальному матеріалі (зношення) відбувається в разі підвищення рівня внутрішньої енергії за допомогою роботи зовнішніх сил, то й обсяг руйнувань визначається величиною цієї роботи.

Отже, між зношенням задньої поверхні  $h_3$  і величиною роботи зовнішніх сил існує функціональна залежність.

Визначення граничного значення роботи зовнішніх сил під час чорнового, напівчистового чи чистового точіння дозволить визначити (при заданих  $t$  і  $s$ ) оптимальне значення швидкості різання. Складність полягає в визначенні цієї величини. По-перше, це можна зробити експериментально, визначаючи емпіричну залежність  $A = f(h_3)$ . Але більш привабливим є розрахунок за роботою зношення леза, яка визначається залежно від матеріалу і геометрії леза [10]:  $A_{h_3} = f(h_3)$ .

Задня поверхня інструмента у стружкоутворенні участі не бере. Тому робота зношування леза по задній поверхні не впливає на напружений стан у зоні різання. За значенням зношення по задній поверхні  $h_3$  леза з відповідною геометрією робота зношування розраховується як [10]:

$$A_{h_3} = h_3^{2,4} \frac{1569 \cdot \sigma \cdot z \cdot (\mu + 40)^{0,0657} \cdot t^{2,0151} \cdot r^{0,2612}}{(\gamma + 20)^{0,042} \cdot (\alpha + 10)^{1,155} \cdot (\alpha^1 + 10)^{0,722} \cdot \varphi^{0,424} \cdot (\varphi^1)^{1,312}}, \quad (5)$$

- де  $\sigma$  – межа міцності під час вигину інструментального матеріалу;
- $z$  – граничне, руйнуюче число циклів для інструментального матеріалу;
- $\lambda$  – кут нахилу головної різальної кромки;
- $t$  – глибина різання;
- $r$  – радіус при вершині;
- $\gamma$  – передній кут;
- $\alpha, \alpha^1$  – головний і допоміжний задні кути;
- $\varphi, \varphi^1$  – головний і допоміжний кут у плані.

Сила  $Pz'$ , яка діє на задній поверхні і є складовою сили  $Pz$ , не залежить від товщини зрізуваного шару  $a$ . Якщо  $a = 0$ , то  $Pz' = Pz$ . Тому якщо  $a \rightarrow 0$  і  $Pz' \rightarrow Pz$  [11]. Щоб визначити  $Pz'$  експериментально знаходять  $Pz = f(a)$ . Під час екстраполяції кривої  $Pz = f(a)$  на нульову товщину зрізуваного шару, точка перетину її з віссю ординат дає значення сили  $Pz'$ .

Дослідження показують [12], що в логарифмічних координатах  $Pz = f(a)$  – пряма лінія. Тому для визначення залежності

$$\ln Pz' = \ln Pz - k \cdot \ln a$$

достатньо визначити величину  $Pz$  для двох значень  $a$ . Тоді  $k = \frac{\ln Pz_2 - \ln Pz_1}{\ln a_2 - \ln a_1}$  і

$$Pz' = e^{\ln Pz - k \cdot \ln a},$$

де  $Pz$  і  $a$  – значення із будь-якого із проведених двох експериментів.

Там же доведено, що зношення леза не має суттєвого впливу на складову  $Pz$ , тому можна вважати  $Pz' = \text{const}$ . Звідси, при заданій стійкості  $T$ ,

$$v = \frac{A_{h3}}{Pz' \cdot T}.$$

**Висновки.** У роботі вперше запропоновано аналітичний розрахунок подачі при різанні металів. Запропонована математична модель визначення оптимального значення швидкості різання. Це дозволяє вирішити проблему розрахунків параметрів режиму різання.

*Дослідження виконано в межах НДР «Інтенсифікація виробничих процесів та розробка інтелектуальних систем контролю якості продукції в інтелектуальному виробництві» (ДР № 0122U200875, Міністерство освіти і науки України).*

#### Список використаних джерел

1. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания. – М. : Экономика, 1990 : 2021. – 473 с.
2. Филоненко С. Н. Резание металлов / С. Н. Филоненко. – К. : Техника, 1975. – 232 с.
3. Coro Guide 13.1.1 [Electronic resource]. – Retrieved from <https://only-soft.org/viewtopic.php?t=33075>.
4. Your Iscar Tool Advisor [Electronic resource]. – Retrieved from <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx/>.
5. Kyocera, Cutting Tools [Electronic resource]. – Retrieved from <https://www.kyoceraprecisiontools.com>.
6. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.
7. Анастасенко С. М. Вплив режимів різання на збереження стійкості інструмента: проблеми та шляхи їх вирішення / С. М. Анастасенко, В. Л. Будуров, І. О. Григурко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2016. – Вип. 46. – С. 312–321.
8. Лисих А. Ю. Експериментальне дослідження залежності стійкості інструменту від інтенсивності охолодження і режимів різання / А. Ю. Лисих, В. Л. Будуров // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – 2019. – Вип. 49. – С. 141–146.
9. Швец С. В. Системный анализ теории резания / С. В. Швец. – Сумы : СумГУ, 2009. – 212 с.
10. Astakhov V. P. Technical Resource of the Cutting Wedge is the Foundation of the Machining Regime Determination / V. P. Astakhov, S. V. Shvets // International Journal of Manufacturing, Materials and Mechanical Engineering. – 2020. – Vol. 10, Issue 2. – Pp. 1–17. – DOI: 10.4018/ijmme.2020040101.
11. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов / В. Ф. Бобров. – М. : Машиностроение, 1975. – 344 с.
12. Аршинов В. А. Резание металлов и режущий инструмент / В. А. Аршинов, Г. А. Алексеев. – М. : Машиностроение, 1967. – 500 с.

#### References

1. *Obshchemashinostroitelnye normativy vremeni i rezhimov rezaniia [General machine-building norms of cutting time and modes]*. (1990 : 2021). Ekonomika.
2. Filonenko. S.N. (1975) *Rezanie metallov [Metal cutting]*. Technics.
3. Coro Guide 13.1.1. <https://only-soft.org/viewtopic.php?t=33075>.
4. Your Iscar Tool Advisor. <http://www.iscar.com/eCatalog/Index.aspx/>.

5. Kyocera, Cutting Tools. <https://www.kyoceraprecisiontools.com/>.
6. Palyvoda, Yu.Ye., Dyachun, A.Ye., Leshchuk, R.Ya. (2019). *Instrumentalni materialy, rezhymy rizannya, tekhnichne normuvannya mekhanichnoyi oborobky [Tool materials, cutting modes, technical standardization of mechanical processing: educational and methodological manual]*. Ternopil National Technical University named after Ivan Pulyu.
7. Anastasenko, S.M., Budurov, B.L., Grigurko, I.O. (2016). Vplyv rezhymiv rizannya na zberezhennya stiykosti instrumenta: problemy ta shlyakhy yikh vyrishennia [The influence of cutting modes on the preservation of tool stability: problems and ways to solve them]. *Konstrouivannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn – Design, production and operation of agricultural machines*, 46, 312–321.
8. Lysykh A. YU., Budurov V. L. (2019) Eksperymental'ne doslidzhennya zalezhnosti stiykosti instrumentu vid intensyvnosti okholodzhennya i rezhymiv rizannya [Experimental study of the dependence of tool stability on cooling intensity and cutting modes]. *Konstrouivannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia silskohospodarskykh mashyn – Design, production and operation of agricultural machines*, 49, 141–146.
9. Shvets, S.V. (2009). *Sistemni analiz teorii rezaniia [System analysis of cutting theory]*. Sumy State University.
10. Astakhov, V.P., Shvets, S.V. (2020). Technical Resource of the Cutting Wedge is the Foundation of the Machining Regime Determination. *International Journal of Manufacturing, Materials and Mechanical Engineering*, 10(2), 1–17. DOI: 10.4018/ijmmme.2020040101.
11. Bobrov, V.F. (1975). *Osnovy teorii rezaniia metallov [Basics of Metal cutting theory]*. Mashinostroenie.
12. Arshinov, V.A. (1967). *Rezanie metallov i rezhushchii instrument [Metal cutting and cutting tools]*. Mashinostroenie.

Отримано 20.03.2023

UDC 621.9.01

**Stanislav Shvets**

PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machine-Building Technologies and Metal-Cutting Machines

Sumy State University (Sumy, Ukraine)

E-mail: [shvetssta@gmail.com](mailto:shvetssta@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0355-0166>. ResearcherID: [HOH-8329-2023](https://orcid.org/HOH-8329-2023)

## MATHEMATICAL MODEL FOR DETERMINING FEED AND CUTTING SPEED

*The parameters of the cutting mode play an important role in ensuring the stability of cutting tools, quality and cost of products. Therefore, determining their optimal values is a primary task in the development of a technological process, and, therefore, the topic of research is relevant.*

*When designing technological processes of metal processing, the task of choosing the values of cutting depth, feed and cutting speed inevitably arises. At this time, the cutting depth and feed are assigned depending on the requirements for the quality of the treated surface. After that, taking into account these parameters and the recommended limit values practically determine the cutting speed. The problem is the lack of analytical expressions for calculations of feed and nominal values of cutting speed.*

*The analysis of the latest research and publications showed that a lot of attention is paid to the selection of parameters of the cutting mode. However, analytical methods for determining feed and cutting speed have not been created.*

*The purpose of the article is to increase the accuracy of determining the parameters of the cutting mode based on the use of mathematical dependencies.*

*Based on the analysis of the geometry of the formation of the height of the roughness of the machined surface, the work presents the method of analytical calculation of feed when determining the parameters of the cutting mode. For the first time, a general approach that relates the feed value and the surface roughness parameter was proposed. Analytical dependencies and an algorithm for applying one of them that corresponds to a specific situation have been created. A mathematical model for determining the optimal value of the cutting speed is proposed. This allows you to solve the problem of calculating parameters of the cutting mode.*

*In the work, for the first time, an analytical calculation of feed during metal cutting is proposed. A mathematical model for determining the optimal value of the cutting speed, taking into account the work of blade wear, is proposed.*

**Keywords:** cutting depth; innings; cutting speed; blade wear work; roughness parameter.

Fig.: 4. References: 9.

**Ольга Дубініна<sup>1</sup>, Вадим Медведєв<sup>2</sup>**<sup>1</sup>аспірант кафедри технології машинобудування

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [olhadubinina777@gmail.com](mailto:olhadubinina777@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4414-2136><sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: [vadim.medvedev@ua.fm](mailto:vadim.medvedev@ua.fm). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0439-6909>ResearcherID: [ADN-0928-2022](https://orcid.org/ADN-0928-2022)**ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ФОРМИ ІНДУКТОРА ДЛЯ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ ВЕЛИКОГАБАРИТНОГО ЗУБЧАСТОГО КОЛЕСА**

Зменшення собівартості виробів, а наразі і збільшення екологічності технологічних процесів становить основні цілі машинобудівного виробництва. Досягнення цих цілей може бути, зокрема, за рахунок впровадження нових методів обробки, одним із яких є магнітно-імпульсна обробка (МІО). Використання цього методу потребує застосування спеціального обладнання, такого як магнітний індуктор. У статті запропоновано для зміцнення поверхневого шару зубців великогабаритного зубчастого колеса використання індуктора спеціальної форми. Застосувавши закон Біо - Савара - Лапласа для обчислення магнітних полів лінійних провідників був проведений уточнюючий розрахунок індуктора. Він показав, що запропонована конструкція не може забезпечити зміцнення на усю площину плями контакту зуба, де відбувається найбільше зношення під час роботи колеса. Тому була спроектована нова тривимірна модель індуктора для магнітно-імпульсної обробки.

**Ключові слова:** оптимізація магнітно-імпульсної обробки; зміцнення; індуктор; магнітне поле; напруженість; зубчастий вінець.

Табл.: 1. Рис.: 11. Бібл.: 5.

**Актуальність теми дослідження.** Огляд різних методів зміцнювальної обробки в сучасному машинобудуванні, які дозволяють досягнути підвищення зносостійкості деталей машин, показує, що більшість методів втратило актуальність. Вони потребують великих фінансових витрат, необхідності застосування комбінованих методів зміцнення та наявності спеціального обладнання. Одним із прогресивних методів зміцнення є магнітно-імпульсна обробка. Заготовки обробляють магнітно-імпульсним полем напруженістю 100-2000 кА/м при тривалості імпульсу 0,1-4,5 с [1]. Час та величина напруженості магнітного поля залежать від матеріалу заготовки та її розмірів. Зносостійкість при цьому підвищується у 2-4 рази. Магнітно-імпульсну обробку застосовують для зміцнення різних деталей та конструкцій, наприклад, заклепувальних, зварних, різевих з'єднань; опорних пристроїв та муфт; ресор та пружин; сталевих канатів та тросів вантажопідйомних пристроїв; різального інструменту і т. ін. Маловивченою залишається магнітно-імпульсна обробка великогабаритних деталей машин, зокрема зубчастих коліс. У цій роботі було запропоновано обробляти зубчастий вінець безпосереднім впливом магнітного поля на пляму контакту зуба. Для цього використовується індуктор спеціальної форми.

**Постановка проблеми.** Проаналізовані у процесі дослідження типи намотки для виготовлення котушки індуктивності, дали можливість побудувати у програмному комплексі SolidWorks тривимірну модель індуктора. На основі цієї моделі проведено розрахунок та побудовано топографічний графік розподілу напруженості магнітного поля вздовж поверхні зуба. Цей графік вказує на те, що магнітне поле з найбільшою силою впливає на край зуба, а не на зону плями контакту. Необхідність впливу магнітного поля безпосередньо на пляму контакту зуба, потребує розробки індуктора спеціальної форми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для нагрівання та магнітного перетворення застосовують котушки індуктивності різної форми, яка визначається конструкцією, розмірами і розміщенням заготовок. Для циліндричних заготовок використовуються циліндричні індуктори. Для пластин використовуються овальні або щілинні індуктори. Для заготовок квадратного поперечного перерізу застосовуються квадратні ін-

дуктори [2]. Проте потреби сучасного машинобудування вимагають постійного ускладнення форм та можливостей індукторів. Наприклад, котушки тори, котушки рейстрекової форми, котушки сідлоподібної форми.

За типом намотування котушки індуктивності розділяються на: спіральні, одношарові суцільні, одношарові із кроком, багатошарові рядові, універсальні, секціоновані. Котушки з одношаровим намотуванням мають досить високі характеристики, відрізняються простотою і технологічністю конструкції. Багатошарові котушки рядового намотування за своїми якостями значно гірше одношарових, тому що вони мають порівняно велику величину власної ємності.

У дослідженні [3] вказано, що в порівнянні з соленоїдами з круглими та D-подібними котушками тори з котушками рейстрекової форми мають найменші значення радіальних розмірів та об'єм механічної утримуючої системи. У роботі [4] досліджено оптимальний робочий об'єм сідлоподібної котушки, шляхом розрахунку топології магнітного поля в робочій зоні котушки методом кінцевих елементів. Визначено, що розмір зразків не повинен бути більшим ніж 28,12 % від повного об'єму котушки. Результати цих робіт вказують на те, що можливості індукторів досі є не до кінця вивченими та мають великий потенціал для дослідження.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Особливість магнітно-імпульсної обробки полягає в тому, що інструмент, що оброблює (індуктор) повинен відповідати формі деталі. Більшість валів та свердл можна обробляти всередині круглих індукторів. Але для деталей інших форм кожний раз треба розробляти свою форму індуктора. Індуктор повинен бути набагато ближче до поверхні деталі, що оброблюється, адже будь-яке магнітне поле затухає відповідно квадрату відстані. Другою особливістю є нерівномірне електромагнітне поле, що генерує індуктор. Через це існує ризик, що деякі ділянки поверхні деталі можуть бути недообробленими. Обидва питання недостатньо освітлені в літературі.

**Метою статті** є розробка індуктора спеціальної форми, використання якого дозволить впливати магнітним полем безпосередньо на пляму контакту зуба.

**Виклад основного матеріалу.** У машинобудуванні вже здійснювалися спроби створення установки для магнітно-імпульсної обробки зубчастих коліс (рис. 1) [1]. Але широкого поширення ця установка не отримала через складність конструкції, а також через втрати магнітної енергії, що відбуваються внаслідок великих повітряних зазорів між деталлю та соленоїдом.

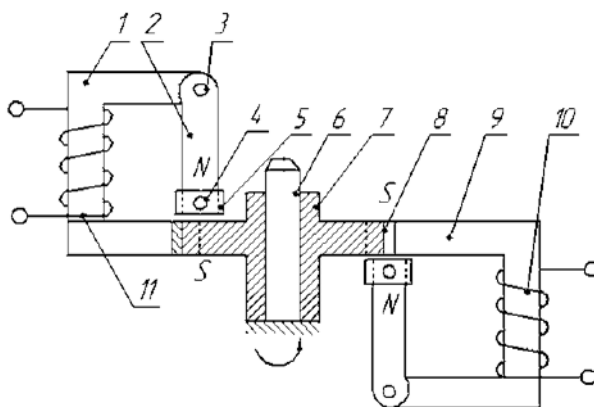


Рис. 1. Установка для МІО коліс великого діаметра:

1, 2, 9 – магнітопроводи; 3 – вісь; 4 – фіксатор; 5 – накінецьник; 6 – оправлення;  
7 – зубчасте колесо; 8 – зуби колеса; 10, 11 – соленоїд

Джерело: [1].

Крім того, конструкція установки не дозволяє впливати безпосередньо на зони найбільшого зношування зубців .

Розглянувши типи намотування для виготовлення виробничої котушки індуктивності, з погляду безпосереднього впливу на ділянки зуба з найбільшим зношуванням, отримуємо такі види розташування дроту (рис. 2) уздовж площини зуба:

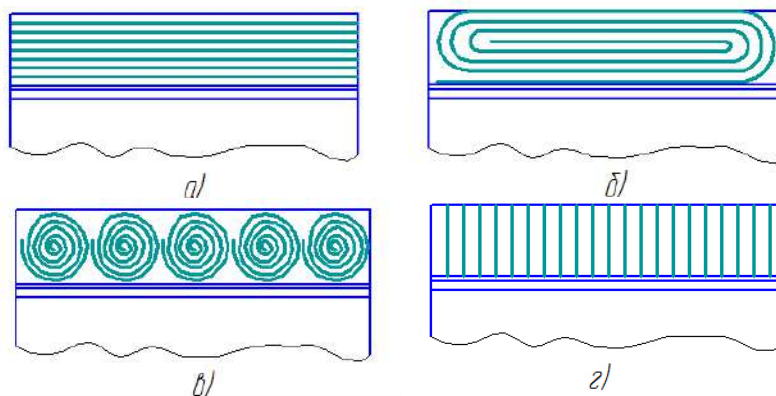


Рис. 2. Види розташування дроту уздовж площини зуба

Джерело: розроблено авторами.

На рис. 2, а показана схема індуктора з паралельним розташуванням дроту, на рис. 2, б – схема індуктора зі спіральним розташуванням дроту, на рис. 2, в – схема індуктора у вигляді декількох окремих спіралей, на рис. 2, г – схема індуктора з перпендикулярним розташуванням дроту. Для проектування індуктора був обраний тип а – як найбільш простий у виготовленні.

За отриманими із креслення деталі-представника розмірами у програмному комплексі SolidWorks була спроектована тривимірна модель індуктора, зображена на рис. 3. Оскільки далі за планом передбачається поглиблений розрахунок магнітного поля, витки на моделі були згруповані по 20 штук, тобто на один виток тривимірної моделі доводиться 20 витків реальної котушки.

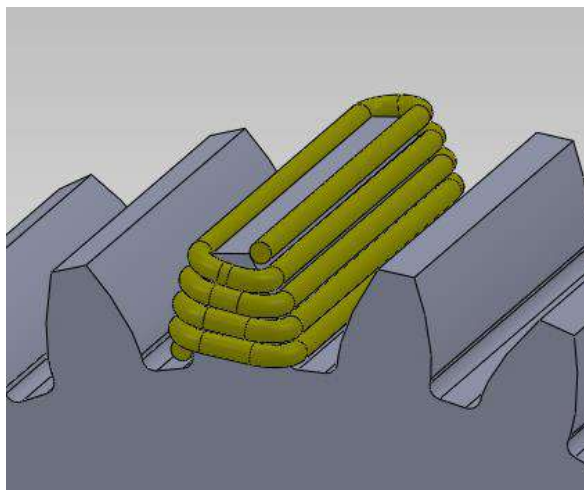


Рис. 3. 3D модель індуктора

Джерело: розроблено авторами.

У ході дослідів був наведений попередній розрахунок напруженості магнітного поля, який дорівнював 695 кА/м. Проводимо уточнений розрахунок цього індуктора, застосувавши для цього закон Біо - Савара - Лапласа для обчислення магнітних полів лінійних провідників [5]. Для цього виділимо 20 точок розташованих на поверхні евольвенти (рис. 4). Кожний виток індуктора, уздовж осової лінії так само розділимо на рівні відрізки (рис. 5).

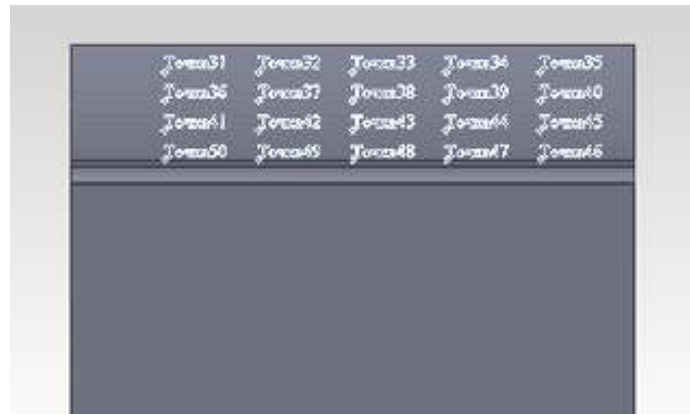


Рис. 4. Поверхня зуба з 20 виділеними точками

Джерело: розроблено авторами.

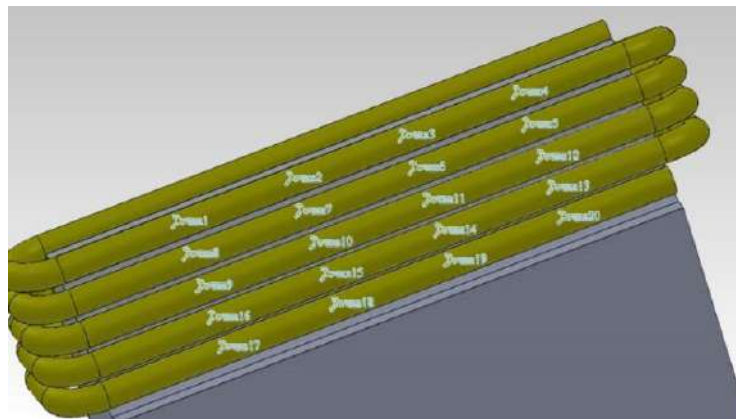


Рис. 5. Витки індуктора, розділені на рівні відрізки

Джерело: розроблено авторами

За допомогою формули Біо - Савара - Лапласса:

$$dH = k \frac{Idl \cdot \frac{r}{r}}{r^2} = k \frac{Idl \cdot r}{r^3}; \tag{1}$$

де  $d$  – вектор магнітного поля (рис. 6);

$dl$  – вектор площини, до якої перпендикулярний вектор  $d$  ;

$r/r$  – одиничний вектор, що вказує напрямом радіус-вектора  $r$ ;

$k$  – коефіцієнт пропорційності, пов'язаний із впливом сердечника на магнітне поле, тому що раніше було зазначено, що сердечник виконаний із магнітотвердого матеріалу приймаємо  $k=1$ .

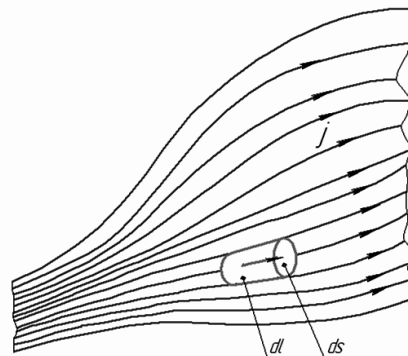


Рис. 6. Напрямок вектора магнітного поля

Джерело: [5].

Обчислено напруженість магнітного поля  $H$ , створюваного лінійним провідником, у точці  $M$ . З (рис. 7) видно, що напрямок  $d$  у точці  $M$  залишається однаковим для будь-яких елементів струму  $Idl$ :  $d$  перпендикулярно до площини, обумовленої векторами  $dl$  і  $r$  (тобто площини рисунка) і спрямоване на нас, незалежно від положення відрізка  $dl$  [5].

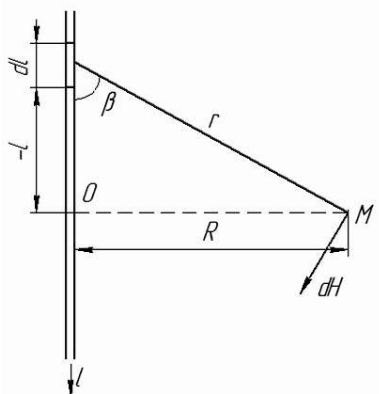


Рис. 7. Напрямок вектора магнітного поля щодо точки  $M$

Джерело: [5].

Отже, геометрична сума полів  $d$  перетворюється в алгебраїчну, і, знаючи напрямок  $d$ , а отже, і результуючого поля  $H$ , нам досить визначити лише його величину [5]. Закон Біо-Савара-Лапласа відповідно до формули наведеної вище дає:

$$dH = k \frac{I \cdot \sin \beta}{r^2} dl ; \tag{2}$$

Для інтегрування потрібно змінні  $r, l, \beta$  виразити через одну яку-небудь із них. Як змінне інтегрування вибираємо кут  $\beta$ . Маємо:

$$r = \frac{R}{\sin \beta} ; \tag{3}$$

$$-l = R \operatorname{ctg} \beta ; \tag{4}$$

$$dl = \frac{R d\beta}{\sin^2 \beta} . \tag{5}$$

Підставляємо ці вирази у формулу (2) й одержимо:

$$dH = k \frac{I}{R} \sin \beta d\beta ; \tag{6}$$

де  $R$  – відстань від точки на осі провідника зі струмом до точки сердечника, вимірюємо її за допомогою програмного комплексу SolidWorks (рис. 8).

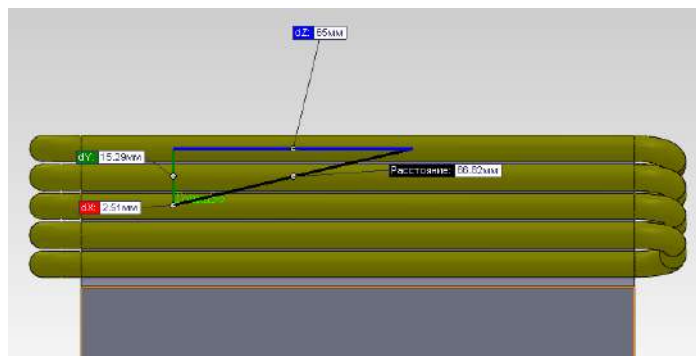


Рис. 8. Вимір відстані від точки на осі провідника зі струмом до точки сердечника

Джерело: розроблено авторами.



Для того, щоб знайти межі інтегрування для кута  $\beta$  також у програмному комплексі SolidWorks виміряно кути між точкою на поверхні зуба й двома крайніми точками відрізка на осі витка. Робимо це для двох варіантів розташування точок, для більше точного результату. Отримано:

$$30^\circ \leq \beta \leq 120^\circ \text{ або } \frac{\pi}{6} \leq \beta \leq \frac{2\pi}{3}; \quad (7)$$

$$160^\circ \leq \beta \leq 165^\circ \text{ або } \frac{8\pi}{9} \leq \beta \leq \frac{11\pi}{12}; \quad (8)$$

Проводимо інтегральний розрахунок за допомогою пакета *Mathcad* та знаходимо середнє арифметичне:

$$f = \frac{1,366 + 0,026}{2} = 0,7. \quad (9)$$

При розрахунку магнітного поля для прискорення обчислень замінимо розрахунок інтеграла на вузькій ділянці лінійною функцією:

$$Int = Int_{\max} - \frac{l - l_{\min}}{l_{\max} - l_{\min}} \cdot (Int_{\max} - Int_{\min}), \quad (10)$$

де  $Int, Int_{\max}, Int_{\min}$  – поточне, максимальне й мінімальне значення інтеграла залежно від кута;  $l, l_{\max}, l_{\min}$  – відстань (поточне, максимальне й мінімальне) між точками зуба й точками витка індуктора.

Коефіцієнт проникнення магнітного поля в метал  $k_{np} = 1,46$ , діаметр дрота  $D_{np} = 1,5$  мм, знаходимо коефіцієнт екранування витків:

$$k = \frac{1}{1,46 \cdot D_{np}}; \quad (11)$$

$$k = \frac{1}{1,46 \cdot 1,5} = 0,45$$

Далі знаючи, що струм у контурі  $I = 300$  А, коефіцієнт екранування  $k = 0,45$ , коефіцієнт перерахування кількості витків  $k_l = 18$  розраховуємо в пакеті Microsoft Excel напруженість магнітного поля  $H$  кожної з 20 точок, розташованих на поверхні зуба деталі. Отримані значення занесемо в таблицю.

Таблиця – Результати розрахунку напруженості магнітного поля в 20 точках поверхні евольвенти.

Номер точки	Напруженість магнітного поля $H$ , А/м
<b>1</b>	<b>2</b>
1	1829992
2	1262201
3	254205,5
4	1262201
5	1829992
6	1699455
7	1311437
8	409268,5
9	1311437
10	1699455
11	1662740
12	1273883
13	373556,4

Закінчення табл.

1	2
14	1273883
15	1662740
16	1496291
17	1087826
18	395270,4
19	1087826
20	1496291

За отриманими даними будуюмо топографічний графік розподілу напруженості магнітного поля уздовж поверхні зуба (рис. 9).

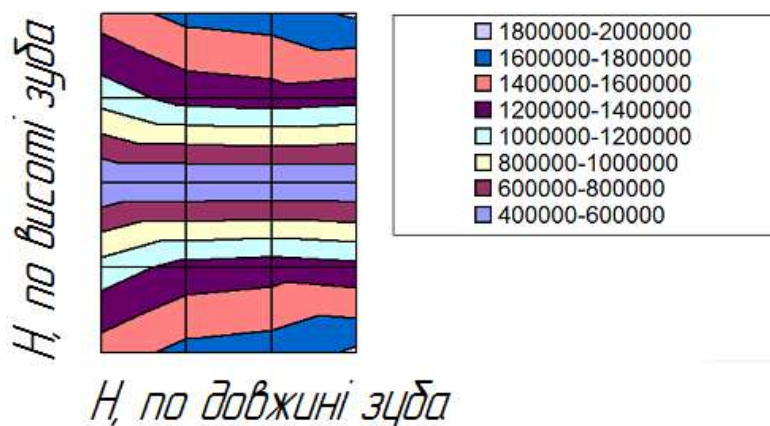


Рис. 9. Топографічний графік розподілу напруженості магнітного поля уздовж поверхні зуба

Джерело: розроблено авторами.

З графіка видно, що магнітне поле з найбільшою силою впливає на краї зуба, а не на зону плями контакту. Робимо висновок, що індуктор з паралельним розташуванням дроту не підходить для МІО зон зубців із найбільшим зношуванням.

Щоб домогтися максимальної напруженості магнітного поля в зоні найбільшого зношування, витки індуктора, необхідно розташовувати перпендикулярно до поверхні зуба як показано на рис. 2, з. Таке розташування дроту дозволить проводити обробку бічних поверхонь двох сусідніх зубців (рис. 10).

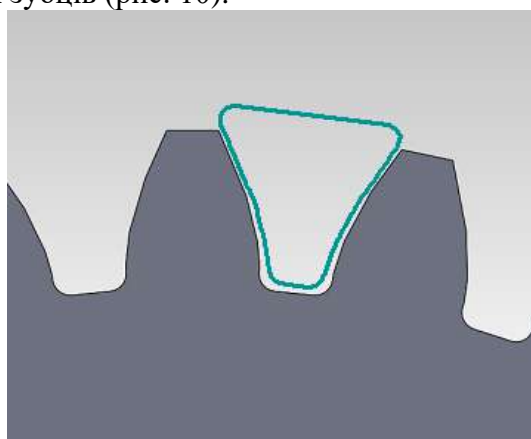


Рис. 10. Розташування індуктора між зубцями

Джерело: розроблено авторами.

Вісь такого індуктора повинна бути паралельна западинам зуба. У програмному комплексі SolidWorks, була спроектована тривимірна модель нового індуктора (рис. 11).

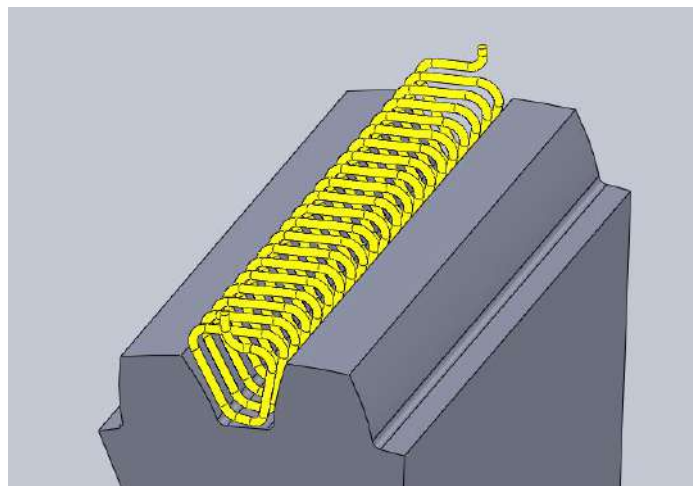


Рис. 11. Індуктор з перпендикулярним розташуванням дроту

Джерело: розроблено авторами.

За графіком так само видно, що напруженість магнітного поля значно більше розрахункової в 695 кА/м. Це значить, що на практиці при визначенні величини напруженості магнітного поля для магнітотвердих сердечників, можна застосовувати менші величини сили струму.

**Висновки.** При застосуванні магнітно-імпульсної обробки необхідно приділяти велику увагу формі і типу намотки індуктора. Тип намотки і розташування витків котушки індуктора також обмежуються конструкцією деталі. Особливі конструкційні обмеження встановлюються там, де необхідно оброблювати внутрішні порожнини. До таких порожнин належать проміжки між зубцями зубчастих коліс.

Магнітне поле індуктора, який має паралельну намотку та обхвачує зуб, з найбільшою силою впливає на краї зуба, а не на зону плями контакту. Також розраховано, що при заданих параметрах електричного генератора, магнітне поле не може перевищувати 1800 кА/м.

Оптимізація форми і намотки індуктора дозволяє зменшити вимоги до електричних генераторів, при збереженні якості обробки на одному рівні.

#### Список використаних джерел

1. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента и деталей машин / Б. В. Малыгин. – М. : Машиностроение, 1989. – 112 с.
2. Семенов Б. Ю. Силовая электроника: от простого к сложному / Б. Ю. Семенов. – М. : СОЛОН-Пресс, 2005. – 416 с.
3. Васецкий Ю. М. Тороїдальні магнітні системи з котушками рейстрекової форми [Електронний ресурс] / Ю. М. Васецкий, І. Л. Мазуренко, А. В. Павлюк // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України : зб. наук. праць. – К. : ІЕД НАНУ, 2011. – Вип. 30. – С. 91-102. – Режим доступу: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/64075/16-Vasetsky.pdf?sequence=1>.
4. Саміла А. П. Дослідження топології магнітного поля в котушці сідлоподібної форми [Електронний ресурс] / А. П. Саміла // Вісник Хмельницького національного університету. – 2018. – № 5 (265). – С. 140-145. – Режим доступу: [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018\\_5/\(265\)%202018-5-t.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_5/(265)%202018-5-t.pdf).
5. Зисман З. А. Курс общей физики / З. А. Зисман, О. М. Тодес. – Т. 2: Электричество и магнетизм. – М. : Наука, 1974. – 366 с.

#### References

1. Malyigin, B.V. (1989). *Magnitnoe uprochnenie instrumenta i detalei mashin [Magnetic hardening of tools and machine parts]*. Mashinostroenie.
2. Semenov, B.Yu. (2005). *Silovaia elektronika: ot prostogo k slozhnomu [Power electronics: from simple to complex]*. SOLON-Press.

3. Vasetskiy, Yu.M., Mazurenko, I.L., & Pavlyuk, A.V. (2011). Toroidalni mahnitni systemy z kotushkamy reistrekovoi formy [Toroidal magnetic systems with coils of a reystrekova form]. *Pratsi Institutu elektrodinamiki Natsionalnoi akademii nauk Ukraini – Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine*, (30), 91-102. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/64075/16-Vasetsky.pdf?sequence=1>.

4. Samila, A.P. (2018). Doslidzhennia topologii mahnitnoho polia v kotushtsi sidlopodibnoi formy [Doslidjennya topology magnitnogo polya v kotushtsi sidlopodibnoi formi]. *Visnik Hmelnytskogo natsionalnogo universitetu – Bulletin of the Khmelnytskyi National University*, 5(265), 140-145. [http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018\\_5/\(265\)%202018-5-t.pdf](http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/tech/pdfbase/2018/2018_5/(265)%202018-5-t.pdf).

5. Zisman, Z.A., Todes, O.M. (1974). *Kurs obshchei fiziki [General physics course]*. Vol. 2. *Elektrichestvo i magnetizm – Electricity and magnetism*. Nauka.

Отримано 11.03.2023

UDC 621.7

***Olha Dubinina<sup>1</sup>, Vadym Medvedev<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>PhD-student of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [olhadubinina777@gmail.com](mailto:olhadubinina777@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0005-4414-2136>

<sup>2</sup>PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Manufacturing Engineering  
National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [vadim.medvedev@ua.fm](mailto:vadim.medvedev@ua.fm). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0439-6909>

**ResearcherID:** [ADN-0928-2022](https://orcid.org/ADN-0928-2022)

## **JUSTIFICATION OF CHOICE OF INDUCTOR FORM FOR LARGE GEAR MAGNETIC-PULSE PROCESSING**

*Reducing products cost, and currently increasing the environmental friendliness of technological processes, is the main goal of machine-building production. Achieving these goals can be, in particular, due to the introduction of new processing methods. One of which is magnetic pulse processing (MPP). Using this method requires the use of special equipment, such as a magnetic inductor.*

*The article proposes the use of a specially shaped inductor to strengthen the surface layer of the teeth of a large-sized gear wheel. The considered types of winding for the manufacture of a production coil of inductance from the point of view of the direct effect on the areas of the tooth with the greatest wear. Applying the Biot - Savart - Laplace law to calculate the magnetic fields of linear conductors, a detailed calculation of the inductor was carried out. It showed that the proposed design cannot provide strengthening over the entire plane of the contact spot of the tooth, where the greatest wear occurs during the operation of the wheel. When applying magnetic pulse processing, it is necessary to pay great attention to the shape and type of inductor winding. The type of winding and the turns arrangement of the inductor coil are also limited by the design of the part. Special design restrictions are established where it is necessary to process internal cavities. Such cavities include the spaces between teeth of gear wheels.*

*The article states that the magnetic field of the inductor, which has a parallel winding and covers a tooth, has the greatest force on the edges of the tooth, and not on the area of the contact patch. It is also calculated that the magnetic field cannot exceed 1800 kA/m with the given parameters of the electric generator.*

*Optimizing inductor shape and winding makes it possible to significantly reduce the requirements for generators while keeping the quality of the output at the same level.*

**Keywords:** optimization magnetic pulse processing; strengthening; inductor; magnetic field; tension; gear ring.

**Table:** 1. **Fig.:** 11. **References:** 5.

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)-61-67

УДК 004.93

**Олександр Полярус<sup>1</sup>, Євгеній Чепусенко<sup>2</sup>, Аліна Бабаєва<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор кафедри метрології та безпеки життєдіяльності  
Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [poliarus.kharkov@ukr.net](mailto:poliarus.kharkov@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8023-5189>

Researcher ID: [AAH-1197-2020](https://orcid.org/0000-0002-8023-5189). SCOPUS Author ID: [14024556800](https://orcid.org/0000-0002-8023-5189)

<sup>2</sup>аспірант кафедри метрології та безпеки життєдіяльності

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

Email: [yevhenii.chepusenko@gmail.com](mailto:yevhenii.chepusenko@gmail.com) ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0439-3310>

Web of Science ID: [HPE-7829-2023](https://orcid.org/0000-0002-0439-3310)

<sup>3</sup>студентка

Харківський національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: [babaeva19112002@gmail.com](mailto:babaeva19112002@gmail.com)

### ОЦІНКА ОСОБЛИВОСТЕЙ БАГАТОВИМІРНИХ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ЇХНІХ ВІЗУАЛЬНИХ ОБРАЗІВ

*Проведено аналіз можливостей візуального контролю багатовимірних випадкових процесів, реалізації яких обробляються у вимірювальних інформаційних системах на технічно складних об'єктах. Уперше запропоновано метод візуального виявлення стрибків параметрів реалізації одного чи декількох випадкових процесів. Корисність методу продемонстрована на прикладі обробки багатовимірних експериментальних даних, яким ставилися у відповідність узагальнені візуальні образи. Функціонування цього методу перевірена також для крайніх випадків оброблення білого шуму й детермінованого процесу.*

**Ключові слова:** багатовимірний випадковий процес; візуалізація; візуальний контроль; візуальний образ; стрибки параметрів.

Рис.: 5. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** На багатьох складних технічних об'єктах одночасно вимірюються багато параметрів, які змінюються з часом. Реалізації цих процесів створюють багатовимірний випадковий процес (БВП). Прийняття рішення щодо стану об'єкта на основі знань про цей процес є операцією, що найчастіше виконується в комп'ютеризованих вимірювальних інформаційних системах, які іноді обладнані елементами штучного інтелекту. Незважаючи на широке впровадження інформаційних технологій у системи діагностики, актуальним залишається візуальний контроль процесів, які характеризують об'єкт, особливо коли кількість таких процесів є великою.

**Постановка проблеми.** Простою візуалізацією може бути фотографія предмета, картина художника-реаліста. Прикладами узагальненої візуалізації є дорожні знаки, символи (букви), що створюють слова, символи (ноти) як елементи музичних акордів, творів, символізм в мистецтві. У математиці алгебра, функціональний аналіз, топологія, тригонометрія тощо також є своєрідними прикладами узагальненої візуалізації. Нарешті, в техніці поширена візуалізація з допомогою, наприклад, спектрів, гістограм, графіків. Застосування візуалізації до багатовимірних випадкових процесів є складним завданням, оскільки традиційні методи, зокрема, графіки є непридатними: людина не зможе за короткий час проаналізувати десятки або сотні графіків, які розміщені окремо чи суміщені на одному аркуші. Отже, виникає проблема візуалізації багатовимірних випадкових процесів, що описують поведінку в часі однорідних чи різнорідних фізичних величин. Візуалізація передбачає постановку у відповідність багатьом випадковим процесам одного двовимірного візуального образу, вид якого буде щось означати для прийняття рішення людиною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На цей час розроблено багато методів обробки багатовимірних даних [1] з використанням методів data mining [2], які є ефективними в прикладних задачах. Візуалізація активно почала розвиватись десятки років тому, зокрема,

у [3] розроблені методи проєктування багатовимірних даних на двомірні площини. Для створення в мозку людини послідовності двомірних зображень складної абстрактної структури об'єкта запропоновано її огляд з усіх боків. Основні проблеми та завдання візуалізації великих даних сформульовані у [4]. У [5] проведено огляд методів подання багатомірних даних у вигляді піктографії, і головний серед цих методів використовує обличчя Чернова, які названі в честь відомого американського професора Германа Чернова. Аналітичні методи аналізу великих даних почали використовуватись не тільки для візуалізації, але і для Інтернету речей [6]. Перед проведенням візуалізації та для її спрощення розмірність даних може бути зменшена [7]. У [8] для спільного використання кількісних та категоріальних змінних запропоновано використовувати узагальнений матричний метод, який пізніше був удосконалений у [9] з метою впровадження інтерактивних підходів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Основним недоліком наявних методів візуалізації є те, що їх важко застосувати для БВП, що описують важливі для технічного об'єкту параметри. Вид часових залежностей цих параметрів може випадково змінюватись і це повинно бути зареєстровано у відповідному візуальному образі. Нами в [10] запропоновано метод, що задовольняє зазначеним вимогам. Корисність методу продемонстрована на прикладі обробки багатовимірних експериментальних даних, яким ставилися у відповідність узагальнені візуальні образи. Функціонування цього методу не перевірена для крайніх випадків випадкових процесів: білого шуму й детермінованого процесу. Не обґрунтований повною мірою підхід до виявлення різких випадкових змін у поведінці одного з випадкових процесів.

**Метою статті** є перевірка ефективності нового методу візуалізації реалізацій багатовимірних випадкових процесу для крайніх випадків і розробка пропозицій щодо виявлення стрибків параметрів одного чи декількох процесів.

**Виклад основного матеріалу.** Сутність запропонованого методу візуалізації вимірювальної інформації, що міститься в багатовимірних даних, описана в [10]. Реалізація кожного випадкового процесу нормується для усунення залежності від розмірності фізичної величини і дискретизується в часі. Отже, маємо  $n$  реалізацій нормованих випадкових процесів і  $m$  нормованих значень кожного процесу, тобто матрицю розмірністю  $n \times m$ . У дискретний момент часу  $k$  нормоване числове значення  $i$ -го вимірюваного параметра в  $i$ -тому процесі становить  $a_{ik}$ . Для цього моменту часу всім реалізаціям БВП ставиться у відповідність узагальнена функція

$$\rho_k(\tau) = \sum_{i=0}^{n-1} a_{ik} l_i(\tau), \quad (1)$$

де  $\tau$  є деяким узагальненим безрозмірним параметром, а  $l_i(\tau)$  – довільна ортогональна функція  $i$ -го порядку, яка в [10] і в цій статті є функцію Лежандра. Сукупність функцій  $\rho_k(\tau)$  для всіх  $k = 1, 2, \dots, m$  створює візуальний узагальнений образ  $\rho(\tau)$  всіх реалізацій багатовимірних випадкових процесу, що отриманий в окремий період часу. Для іншого періоду цей образ може змінитись. Нормальному режиму функціонування технічного об'єкта відповідає деякий стандартний візуальний образ, який може осереднюватись за багато періодів. При аномальному режимі візуальний образ буде відрізнитись від стандартного. Таким чином, по виду цього образу, мабуть, буде можливо проводити візуальну діагностику технічного об'єкта або знаходити аномалії в отриманих даних. Для реалізації такої ідеї необхідно провести низку попередніх досліджень. У цій статті проведемо аналіз візуалізації БВП для окремих крайніх випадків.

Для спрощення аналізу спочатку вважаємо, що всі реалізації БВП є постійними в часі, але одна з них на деякому невеликому інтервалі часі змінюється стрибком у вигляді гаусоїди з деякою дисперсією. Щоб розрізнити візуальний образ  $\rho(\tau)$  для реальної ситуації від образу для модельної ситуації (крайній випадок), позначимо модельний образ

як  $F(\tau)$ . На рис. 1 наведена залежність  $F(\tau)$  для описаного випадку (суцільна лінія) і за наявності в одній (будь-якій) з реалізацій стрибка, амплітуда якого в п'ять разів перевищує постійне значення цієї реалізації (штрих-пунктирна лінія).

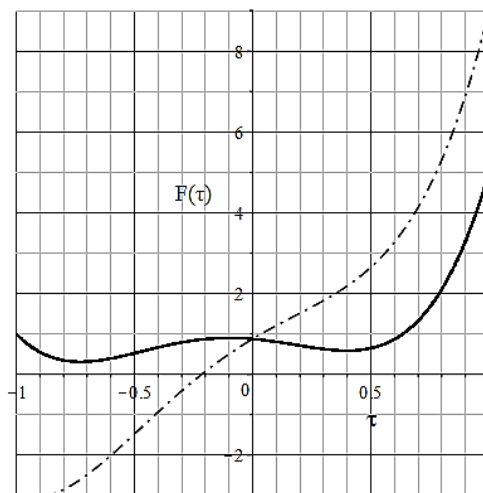


Рис. 1. Візуальний образ у випадку, коли всі значення реалізацій випадкових процесів не змінюються з часом (суцільна лінія), а значення однієї з реалізацій процесу в один момент часу збільшується в 5 разів стрибком (штрих-пунктирна лінія)

З рисунку 1 випливає, що для вибраної моделі наявність стрибка в одній з реалізацій БВП легко фіксується по візуальному образу. Якщо встановити поріг різниці між стандартним візуальним образом (суцільна лінія) та реальним (штрих-пунктирна лінія) при деякому значенні  $\tau$ , то перевищення порогу буде свідчити про виявлення стрибка з деякою ймовірністю, яку можна визначити за відомими методиками. Стрибки у двох і більше реалізаціях не змінюють поведінку візуального образу.

У другій модельній ситуації всі реалізації БВП змінюються за гармонічним законом, а одна з реалізацій містить стрибок, який легко виділяється у візуальному образі (рис. 2).

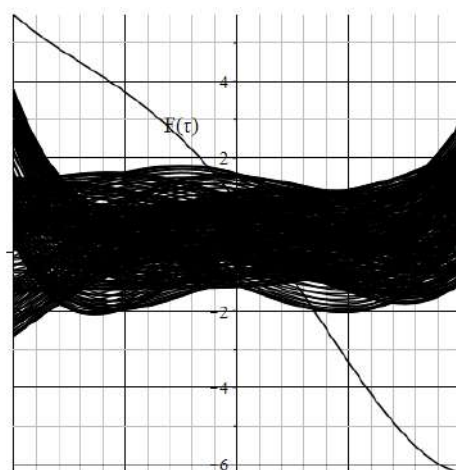
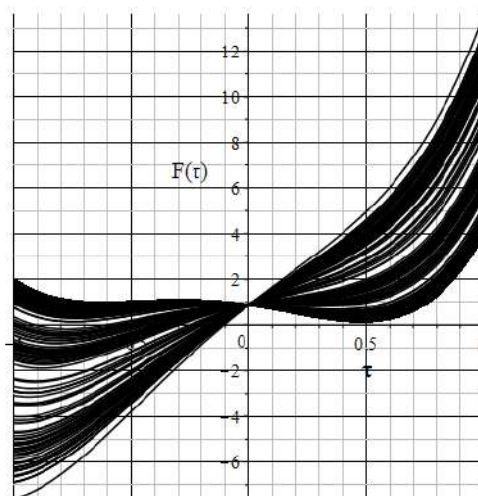


Рис. 2. Візуальний образ для випадку, коли всі значення реалізацій БВП змінюються з часом за гармонічним законом із різними періодами, а в один момент часу значення однієї з реалізацій одного з випадкових процесів змінюються стрибком, що в 10 разів перевищує середнє значення

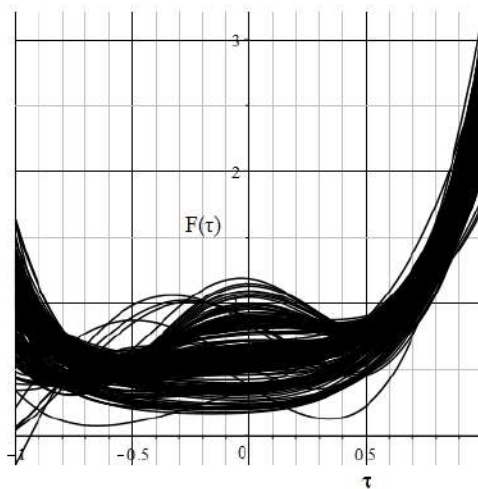
У третій модельній ситуації, як і в першій, значення реалізацій БВП не змінюються з часом, але одна реалізація має низьку кореляцію, тобто є близькою до білого шуму. Візуальний образ у цьому випадку має дуже характерні ознаки (рис. 3).



*Рис. 3. Візуальний образ у випадку, коли всі значення реалізацій БВП не змінюються з часом (суцільна лінія), а реалізація одного з випадкових процесів є білим шумом амплітудою 50 % від максимального значення*

Для корельованих процесів візуальний образ звужується по вертикалі. Отже, існує фізична основа розпізнавання хаотичних процесів, що можуть входити до БВП.

У реальній (не модельній) ситуації візуальний образ є складнішим. На рисунку 4 він отриманий з експериментальних даних, що описані в [10].



*Рис. 4. Візуальний образ для випадку, коли всі реалізації БВП отримані з експериментальних даних*

Стрибки значень реалізацій БВП, якщо вони відбуваються в реальних умовах нестационарних випадкових процесів, не завжди чітко виділяються. Залежність виду візуального образу від амплітуди стрибка отримати не просто. Потрібний інший підхід, що створить умови для якісного візуального аналізу і дасть можливість розробити метрологічні вимоги до точності вимірювань параметрів процесів.



Для відмови від аналізу складних візуальних образів будемо оцінювати не узагальнену функцію  $F(\tau)$ , а різницю  $\chi(\tau) = F_1(\tau) - F_2(\tau)$  узагальнених функцій  $F_1(\tau)$  без стрибка амплітуди та  $F_2(\tau)$  зі стрибком або стрибками амплітудних значень реалізацій БВП (рис. 5).

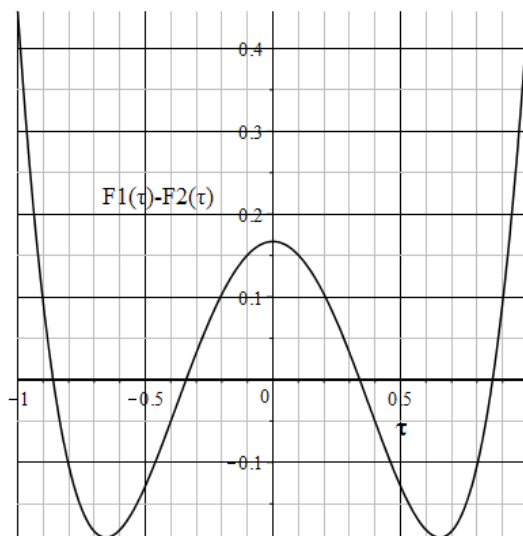


Рис. 5. Різниця узагальнених функцій: узагальненої функції для експериментальних даних без стрибків і функції, коли в одному з процесів в один із моментів часу з'явився стрибок амплітуди з 0,1548 до 0,6

Аналогічний вид мають рисунки, що отримані при різних амплітудах стрибків будь-якої з реалізацій випадкового процесу, тільки змінюються цифрові дані на осі ординат. Залежність  $\chi(\tau = const)$  від відносної амплітуди стрибка є лінійною. Як бачимо, при виборі порогу  $\chi$  завжди можна оцінити візуально амплітуду стрибка й перерахувати її в реальне значення вибраної реалізації БВП, а потім порівняти її з вимогами ДСТУ.

Отже, існують передумови для візуального виявлення стрибків значень реалізацій БВП. Визначення номеру випадкового процесу, в якому з'явився стрибок, може здійснюватися не оператором, а алгоритмами оброблення вимірних сигналів, наприклад, такими, які розроблені в [11]. Задача оператора – сигналізувати про порушення в роботі об'єкта. Описаний метод виявлення стрибків параметрів сигналів був продемонстрований для випадку відомих функцій  $F_1(\tau)$  та  $F_2(\tau)$ . В реальній ситуації вони наперед не відомі. Тоді, як було зазначено, треба отримати осереднену функцію  $\rho(\tau)$ , яка буде аналогом функції  $F_1(\tau)$ . Функція  $F_2(\tau)$  буде описувати візуальний образ БВП для реальної ситуації і далі потрібно проводити розпізнавання візуального образу  $\chi(\tau)$  для оцінки можливості виявлення стрибка в одній чи декількох реалізаціях БВП. Ця задача виходить за межі дослідження, що встановлені в статті.

**Висновки.** У роботі вдосконалено метод візуалізації багатовимірних випадкових процесів і перевірена ефективність нового методу для різних спрощених модельних ситуацій. Ефективність оцінювалась на основі сприйняття візуальних образів багатомірних процесів людиною і виявилась високою, тобто такою, що не припускає подвійного тлумачення. Наукова новизна статті полягає в тому, що в ній розроблені нові обґрунтовані пропозиції щодо візуального виявлення стрибків параметрів одного чи декількох реалізацій випадкових процесів. Метод може використовуватись в різних галузях, де застосовуються багатоканальні вимірювальні інформаційні системи, в яких обробляються різномірні параметри реалізацій випадкових процесів, а візуальний контроль за прийнятими

сигналами є ускладненим. У подальшому необхідно провести широке коло досліджень з оцінки ефективності методу візуалізації багатовимірних процесів в різних практичних ситуаціях, набрати статистику і створити загальну теорію візуального виявлення аномалій у таких процесах.

### Список використаних джерел

1. Mansmann S. Multidimensional Data Modeling for Business Process Analysis / S. Mansmann, T. Neumuth, Marc H. Scholl // *ER 2007: 26th International Conference on Conceptual Modeling*, Auckland. – New Zealand, November 5-9, 2007.
2. Jean-Luc Starck. Handbook of Astronomical Data Analysis / Jean-Luc Starck, Fionn Murtagh // Elsevier, 2002. – 303 p.
3. Asimov D. The grand tour: A tool for viewing multidimensional data / D. Asimov // *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*. – 1985. – № 6 (1). – Pp. 128-143.
4. Zongben Xu. Exploring Big Data Analysis: Fundamental Scientific Problems / Xu Zongben, Shi Yong // *Ann. Data Sci.* – 2015. – № 2 (4). – Pp. 363-372. – DOI 10.1007/s 40745-015-006374.
5. Yau Nathan. Visualize This: The Flowing Data Guide to Design, Visualization, and Statistics / Yau Nathan // John Wiley & Sons. – 2011. – 384 c.
6. Big Data Analytics: Architecture, Oppottunities, and Open Research Challenges / Mohsen Marjani, Fariza Nasaruddin, Abdullah Gani, Ahmad Karim, Ibrahim Abaker Targio Hashen, Aisha Siddiq and Ibrar Yaqoob // *IEEE Access*. – 2017. – Vol. 5. – Pp. 5247-5261.
7. Amy Genender-Feltheimer. Visualizing High Dimensional and Big Data. – Complex Adaptive Systems Conference with Theme: Cyber Physical Systems and Deep Learning / Amy Genender-Feltheimer // *CAS*. – 2018. – 5 November – 7 November 2018. – Chicago, Illinois, USA. – Pp. 112-121.
8. The Generalized Pairs Plot / John W. Emerson, Walton A. Green, Barret Schloerke, Jason Crowley, Dianne Cook, Heike Hofmann, Hadley Wickham // *Journal of Computational and Graphical Statistics*. – 2013. – Vol. 22(1). – Pp.79-91.
9. Jean-François Im. GPLOM: The Generalized Plot Matrix for Visualizing Multidimensional Multivariate Data / Jean-François Im, Michael J. McGuffin, Rock Leung // *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*. – 2013. – № 19(12). – Pp. 2606-2614. – DOI: 10.1109/TVCG.2013.160.
10. Visualization method for multidimensional random processes / Poliarus O., Lebedynskiy A., Chepusenko Ye., Lyubymova N. // *Measuring equipment and metrology*. – 2023. – Vol. 84, No. 1. – Pp. 5-10.
11. Poliarus O.V. Determination of landmarks by mobile robot's vision system based on detecting abrupt changes of echo signals parameters / O.V. Poliarus, Ye.O. Poliakov, L. Lindner // *The 44<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. – Washington D. C., USA, October 21-23, 2018. – Pp. 3165-3170.

### References

1. Mansmann, S., Neumuth, T., & Marc H. Scholl. (November 5-9, 2007). Multidimensional Data Modeling for Business Process Analysis. *ER 2007: 26th International Conference on Conceptual Modeling*, Auckland, New Zealand.
2. Jean-Luc, Starck, & Fionn, Murtagh. (2002). Handbook of Astronomical Data Analysis. *Elsevier*.
3. Asimov, D. (1985). The grand tour: A tool for viewing multidimensional data. *SIAM Journal on Scientific and Statistical Computing*, 6(1), 128-143.
4. Zongben, Xu, & Yong, Shi. (2015). Exploring Big Data Analysis: Fundamental Scientific Problems. *Ann. Data Sci.*, 2(4), 363-372. doi:10.1007/s 40745-015-006374.
5. Yau Nathan. (2011). Visualize This: The Flowing Data Guide to Design, Visualization, and Statistics. *John Wiley & Sons*.
6. Mohsen, Marjani, Fariza, Nasaruddin, Abdullah, Gani, Ahmad, Karim, Ibrahim Abaker, Targio Hashen, Aisha, Siddiq, & Ibrar, Yaqoob. Big Data Analytics: Architecture, Oppottunities, and Open Research Challenges // *IEEE Access*. – 2017. – Vol. 5. – Pp. 5247-5261.
7. Amy, Genender-Feltheimer. (5 November – 7 November 2018). Visualizing High Dimensional and Big Data. *Complex Adaptive Systems Conference with Theme: Cyber Physical Systems and Deep Learning*, *CAS* (pp. 112-121). Illinois, USA.

8. John W. Emerson, Walton A. Green, Barret Schloerke, Jason Crowley, Dianne Cook, Heike Hofmann, & Hadley Wickham. (2013). The Generalized Pairs Plot. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 22(1), 79-91.

9. Jean-François Im, Michael J. McGuffin, & Rock Leung. (2013). GPLOM: The Generalized Plot Matrix for Visualizing Multidimensional Multivariate Data. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2606-2614. doi:10.1109/TVCG.2013.160.

10. Poliarus, O., Lebedynskiy, A., Chepusenko, Ye., & Lyubymova, N. (2023). Visualization method for multidimensional random processes. *Measuring equipment and metrology*, 84(1), 5-10.

11. Poliarus, O.V., Poliakov, Ye.O., & Lindner, L. (October 21-23, 2018). Determination of landmarks by mobile robot's vision system based on detecting abrupt changes of echo signals parameters. *The 44<sup>th</sup> Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (pp. 3165-3170). Washington D. C.

Отримано 15.02.2023

UDC 004.93

### ***Oleksandr Poliarus, Yevhen Chepusenko, Alina Babayeva<sup>3</sup>***

<sup>1</sup>Doctor of Engineering Science, Professor of Metrology and Life Safety Department  
Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [poliarus.kharkov@ukr.net](mailto:poliarus.kharkov@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8023-5189>

Researcher ID: [AAH-1197-2020](https://orcid.org/0000-0002-8023-5189). SCOPUS Author ID: [14024556800](https://orcid.org/0000-0002-8023-5189)

<sup>2</sup>Graduate Student of the Department of Metrology and Life Safety  
Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [yevhenii.chepusenko@gmail.com](mailto:yevhenii.chepusenko@gmail.com) ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0439-3310>

Web of Science ID: [HPE-7829-2023](https://orcid.org/0000-0002-0439-3310)

<sup>3</sup>Student

Kharkiv National Automobile and Highway University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: [babaeva19112002@gmail.com](mailto:babaeva19112002@gmail.com)

## **ESTIMATION OF MULTIDIMENSIONAL RANDOM PROCESSES FEATURES BASED ON THEIR VISUAL IMAGES**

Despite the wide implementation of information technologies in diagnostic systems, visual control of the processes that characterize the object state remains relevant, especially when the number of such processes is large. An analysis of the possibilities of visual control for multidimensional random processes, the realizations of which are processed in measurement information systems on complex technical objects, was carried out. For this, these processes are transformed into a visual image, that represented a set of curves on a plane, which are obtained for each discrete moment of time. Any curve is the sum of products of the realizations values for each random process at a specified discrete moment of time on the corresponding orthogonal function that depends on some generalized argument. Lagrangian functions are used in the article.

The purpose of the article is to check the effectiveness of a new method of visualizing realizations of a multidimensional random process for extreme cases and to develop proposals for detecting the parameters jumps of one or more processes.

For the first time, a method of visual detection of the parameters jumps of realizations for one or more random processes is proposed. The essence of the method is based on the subtraction of a visual image, that is, a set of functions in the absence of a jump of one or more process parameters from a similar image that concludes jumps of parameters. In practice, the first image should be a statistical average for the conditions of normal functioning of the technical object. After subtraction, a new visual image is created, which shows anomalies caused by jumps in process parameters. The usefulness of the method is demonstrated on the example of processing multidimensional experimental data, which were matched with generalized visual images. The functioning of this method is verified also for extreme cases of processing white noise and a deterministic process. The obtained visual images also reveal the features of the behavior of multidimensional random processes.

**Keywords:** multidimensional random process; visualization; visual control; visual image; parameter jumps.

Fig.: 5. References: 11.

**Мирослава Хуторна<sup>1</sup>, Олег Чередніков<sup>2</sup>,  
Наталія Пантелєєва<sup>3</sup>, Олександр Андрієнко<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор економічних наук, професор, провідний науковий співробітник  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Черкаси, Україна)

E-mail: [miroslava7@gmail.com](mailto:miroslava7@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0761-3021>

ResearcherID: [E-4780-2019](https://orcid.org/0000-0003-0761-3021). Scopus Author ID: [57207767142](https://orcid.org/0000-0003-0761-3021)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Черкаси, Україна)

E-mail: [cheronoleg52@gmail.com](mailto:cheronoleg52@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1258-590X>

<sup>3</sup>доктор економічних наук, кандидат технічних наук, професор, провідний науковий співробітник  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Черкаси, Україна)

E-mail: [nnpanteleeva2017@gmail.com](mailto:nnpanteleeva2017@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6457-6912>

ResearcherID: [V-5142-2019](https://orcid.org/0000-0001-6457-6912). Scopus Author ID: [57203140234](https://orcid.org/0000-0001-6457-6912)

<sup>4</sup>кандидат психологічних наук, провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу  
Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Черкаси, Україна)

E-mail: [flater2009@ukr.net](mailto:flater2009@ukr.net) ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8450-801X>

## **ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВИПРОБУВАНЬ ДОСЛІДНИХ ЗРАЗКІВ ЛЬОТНО-ТЕХНІЧНОГО ОБМУНДИРУВАННЯ**

*Стаття присвячена розвитку методології інформаційного забезпечення процесу випробувань дослідних зразків ЛТО. Представлено концептуальну схему інформаційної моделі досліджуваного процесу; обґрунтовано критеріальні сутності формалізації процесу оцінювання якості ЛТО у рамках випробувальної діяльності, а саме: 1) здійснено теоретичну декомпозицію поняття якості ЛТО; 2) сформовано інформаційну модель оцінювання якості ЛО за процесним підходом; 3) обґрунтовано комплексність взаємозв'язків між змістовими елементами якості ЛТО та представлено модель інформаційно-методичного базису для підвищення наукової-обґрунтованості результатів випробувальної діяльності. Розроблено пропозиції щодо використання методу аналітичного процесу для підвищення якості експертного оцінювання дослідних зразків.*

**Ключові слова:** випробування; інформаційна модель; льотно-технічне обмундирування; дослідні зразки; вимоги; методичне забезпечення.

Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 19.

**Постановка проблеми.** Забезпечення сучасним льотно-технічним обмундируванням льотного складу авіації Збройних Сил України є важливим завданням, враховуючи множину несприятливих чинників впливу на виконання особовим складом професійних обов'язків, особливо в умовах бойових дій. Це передбачає необхідність і обов'язковість підтвердження якості льотно-технічного обмундирування (ЛТО) на здатність надійно забезпечувати комфорт і безпеку, що, в свою чергу, потребує проведення випробувальних робіт на високому науково-методичному рівні з розробкою нових підходів інформаційного супроводу та оцінювання об'єктів випробувань на придатність перед прийняттям рішення щодо постачання та/або запуску ЛТО в серійне виробництво.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема дослідження якості льотно-технічного обмундирування є достатньо широкою і має науково-прикладний характер, що зумовлено його конструктивною особливістю і складністю, видами матеріалів і комплектуючих виробів, які використовуються для виробництва, умовами експлуатації. Так, дослідженню комфортності льотних костюмів для військових пілотів в екстремальних умовах (високих/низьких температур, підвищеної вологості, високої швидкості тощо) присвячені публікації Д. Дж. Опп [1], Дж. Р. Кейзер [6], П. Р. Сінклер [7], Ф. Делоне [8], П. Грегерсен [9], ефективності льотного обмундирування залежно від ефективності різних видів матеріалів і конструкцій - Дж. Кім [2], Дж. Вієгас [10], визначенню рівня комфорту та ефективності під час виконання льотних завдань, поліпшенню дизайну - А. С. Пілчер [3], Ю. Дж. Чон [4], С. Воскуйл [5] та інші. Українські також мають наукові розробки в цьому напрямі, зокрема, О. В. Андрієнко, Є. В. Хмель [11; 12], І. М. Ключніков, А. Г. Єрилкін, О. М. Марченко [13], О. В. Червотока, М. О. Геращенко, І. М. Лаппо

[14]. Безумовно, такі дослідження здійснюють також офіційні установи, науково-дослідні інститути та лабораторії цивільної та військової авіації, міжнародні авіаційні агенції країн світу [15-18], а також України [19].

Проте, враховуючи прогрес авіаційної техніки та динаміку розробки сучасних матеріалів на основі нанотехнологій, посилення різного роду загроз питання випробувань якості військового льотно-технічного обмундирування залишається актуальним і потребує подальшого вдосконалення науково-методичних підходів їх проведення.

**Метою** роботи є розробка інформаційної моделі випробувань дослідних зразків льотного обмундирування для розширення інформаційно-методичного базису науково-обґрунтованої оцінки випробувань дослідних зразків ЛТО.

**Основні матеріали дослідження.** Насамперед, зазначимо, що предметом випробувань дослідних зразків ЛТО є його якість. У широкому розумінні якість продукції – це сукупність властивостей продукції, які визначають ступінь придатності її для використання за призначенням.

Поширюючи цей підхід на обраний предмет дослідження (випробування дослідних зразків ЛТО) вважаємо, що її базовими компонентами повинні бути надійність, безпека та ефективність. При цьому під надійністю ЛТО розуміємо його здатність відповідати всім тактико-технічним вимогам замовника незалежно від умов та факторів зовнішнього впливу. Безпеку тлумачимо як набір характеристик ЛТО, які забезпечують збереження життя та здоров'я льотчиків та технічного персоналу при виконанні своїх функціональних обов'язків. Своєю чергою, під ефективністю розуміємо такий набір характеристик, які формують передумови до виконання поставлених завдань (бойових, рятувальних, пошуково-розвідувальних та ін.) як у нормальних (планових), так і позаштатних (аварійних) ситуаціях.

Стосовно технічних, фізико-механічних, фізіолого-гігієнічних, ергономічних, естетичних та експлуатаційних характеристик, то це складові якості ЛТО нижчого порядку, які, взаємодіючи між собою, формують певний рівень надійності, безпеки та ефективності ЛТО, а отже, рівень його якості.

Формалізацію процесу випробувань дослідних зразків льотного обмундирування представимо інформаційною моделлю, яка у загальному вигляді подана на рис. 1.

У цій науковій статті приділимо увагу формалізації процесу оцінювання якості ЛТО у рамках випробувальної діяльності, що, на нашу думку, повинно передбачати виконання таких наукових завдань:

- 1) формування інформаційної моделі оцінювання якості ЛТО за процесним підходом;
- 2) розвиток та структурування показників оцінки якості ЛТО з позиції превентивного виявлення його зон уразливості з позиції базових компонент якості – надійності, безпеки та ефективності;
- 3) формування інформаційної моделі процедури оцінювання якості ЛТО та розвиток методології науково-обґрунтованого експертного оцінювання дослідних зразків ЛТО.

Послідовно розкриємо кожен із зазначених пунктів.

Зазначимо, що під формуванням інформаційної моделі оцінювання якості ЛТО за процесним підходом мислимо деталізацію змісту процесу  $A_0$ , зображеного на рис. 1.

Ключовими блоками у цій інформаційній моделі повинні бути такі:

- 1) обґрунтування логіки ув'язування окремих різновидів характеристик ЛТО (технологічних, фізико-механічних, фізіолого-гігієнічних, ергономічних, естетичних та експлуатаційних) з базовими компонентами якості ЛТО – надійністю, безпекою та ефективністю;
- 2) розробка системи індикаторів якості ЛТО, по-перше, у розрізі вищезазначених характеристик, а по-друге, виходячи з пріоритету виявлення вразливостей дослідних зразків ЛТО з позиції забезпечення його надійності, безпеки та ефективності;
- 3) обґрунтування методології обробки експертних оцінок дослідних зразків ЛТО для підвищення їх достовірності та наукової обґрунтованості.



Рис. 1. Концептуальне представлення інформаційної моделі випробувань дослідних зразків ЛТО

Авторське представлення схематичного зображення інформаційної моделі оцінювання якості ЛТО за процесним підходом подано на рис. 2.

Інформаційна модель є описом об'єкту випробування через систему показників з урахуванням їх взаємозалежності та взаємовпливу в тривимірному цільовому просторі якості – надійність, безпека і ефективність. За процесним підходом інформаційна модель відображає логіку проведення випробувань через сукупність окремих процесів випробувань відповідно до поставлених завдань визначення технологічних, фізико-механічних, фізіолого-гігієнічних, ергономічних, естетичних та експлуатаційних характеристик зразка ЛТО.

Кожен такий процес уніфікований щодо алгоритму здійснення, але відмінний на рівні формалізації матеріально-технічного забезпечення випробування, програм і методик випробувань, випробувальних груп (бригад). Повнота інформаційної моделі визначається достатністю її методичного базису відносно визначення характеристик якості зразка випробувань ЛТО.

Зазначимо, що під час випробування дослідних зразків до важливих об'єктів експертизи необхідно відносити такі:

- зовнішній стан, маркування, комплектність та конструкції дослідних зразків ЛТО;
- якість виготовлення (пошиття) дослідних зразків ЛТО на предмет їх відповідності стандартам;
- зручність носіння та затрати часу на одягання / зняття дослідних зразків ЛТО у сполученні з іншими серійними виробами льотного обмундирування, захисного і спеціального спорядження;
- метрологічне забезпечення дослідних зразків ЛТО;
- ергономічні характеристики дослідних зразків ЛТО;
- можливість та особливості виконання стрибків з парашутом із літальних апаратів парашутистами-випробувачами, одягнутими в дослідні зразки ЛТО;
- зручність та особливості застосування дослідних зразків при виконанні робіт на авіаційній техніці, виконанні інших робіт в польоті;
- лабораторні випробування матеріалів, що застосовуються для виготовлення дослідних зразків ЛТО;

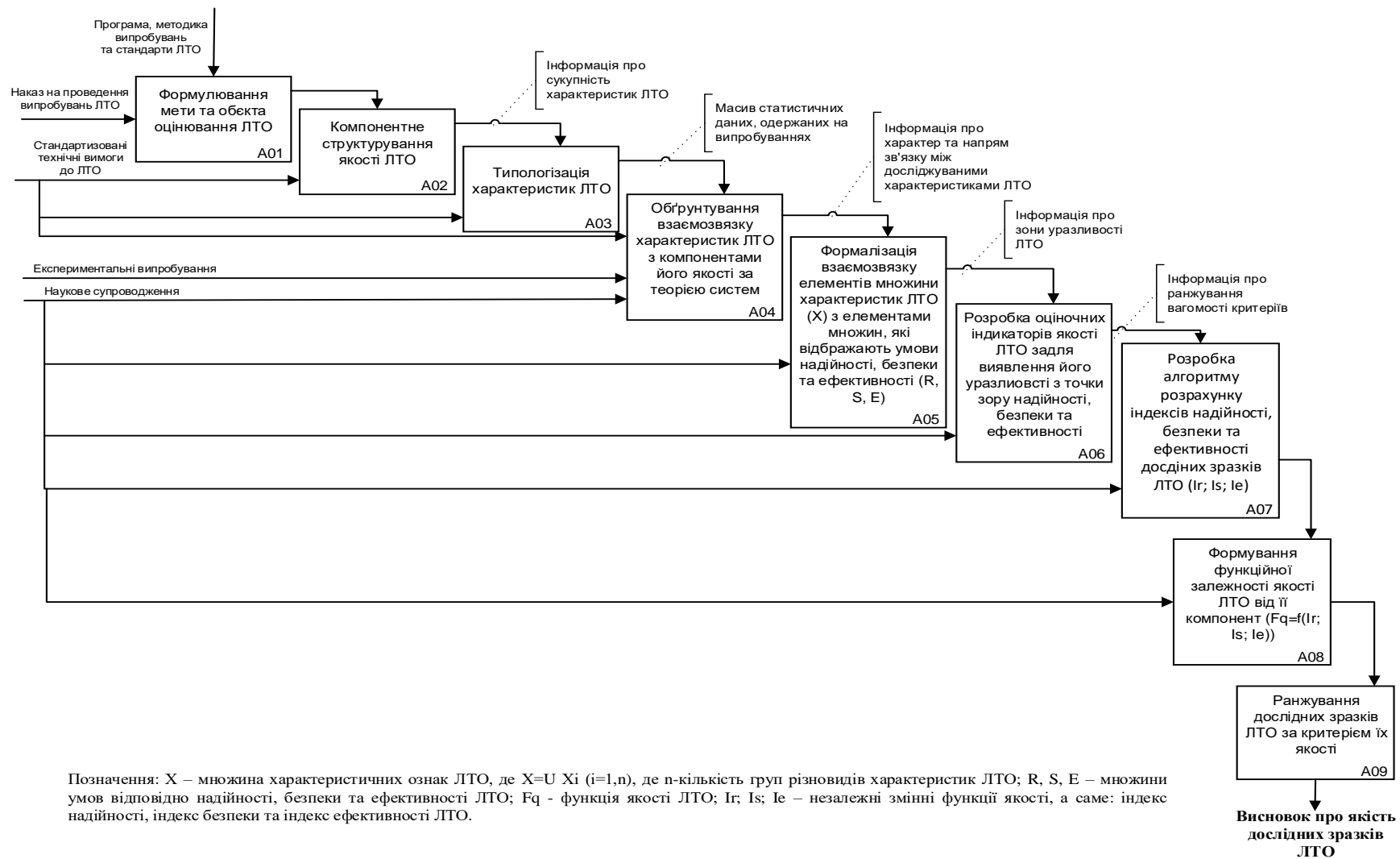


Рис. 2. Інформаційна модель оцінювання якості ЛТО за процесним підходом

Джерело: розробка авторів.

- сполучуваність дослідних зразків ЛТО між собою, з іншими серійними виробами льотного обмундирування, захисного спорядження та засобами захисту від ЗМУ;
- можливість розміщення предметів НАЗ у кишнях дослідних зразків ЛТО;
- міцність матеріалів (тканини, фурнітури тощо), що застосовуються для виготовлення дослідних зразків ЛТО, після їх тривалої експлуатації;
- тепло- і вітрозахисні властивості дослідних зразків ЛТО;
- вплив хімічної чистки (прання) на зміну якості (зовнішнього стану, кольору, лінійних розмірів) дослідних зразків ЛТО;
- вплив дослідних зразків ЛТО на траєкторію руху рук, погляди та оглядовість експериментатора.

Окреме питання у розширенні інформаційно-методичного базису науково-обґрунтованої оцінки випробувань дослідних зразків ЛТО – це обґрунтування взаємоузгодженості оціночних характеристик ЛТО та компонент його якості. Маємо на увазі їх ранжування за критеріям рівня підпорядкованості один одному та особливостей взаємозв'язків між ними. Авторське бачення цього подано на рис. 3, що реалізовано завдяки інструментам ER діаграми.

Як видно з рис. 3 всі характеристики ЛТО перебувають у тісному взаємозв'язку і немає жодної характеристики, яка або не відчула б на собі вплив інших ознак ЛТО, або сама не здійснювала б такий вплив. Аналогічне стосується і їх взаємодії з компонентами якості ЛТО, тобто його надійністю, безпечністю та ефективністю. Чітко формалізувати подібну мережеву структуру взаємозв'язків – це досить складна аналітична задача, яка своєю чергою, потребувати запровадження цілої низки обмежень та теоретичних припущень, що негативно відобразиться на її достовірності як аналітичного інструментарію. Саме тому, на наше переконання, методом обробки інформаційного масиву вищезазначеної природи доцільно обрати експертний підхід і саме до нього застосовувати передові підходи підвищення його об'єктивності та наукової обґрунтованості.

Інше важливе наукове питання у рамках обраного предмету дослідження – це обґрунтування методології обробки експертних оцінок дослідних зразків ЛТО задля підвищення їх достовірності та наукової обґрунтованості. Як вже зазначалося вище фундаментальним методом оцінювання дослідних зразків, який використовується у рамках випробувальної діяльності, – це метод експертних оцінок. Переконані, що у випробувальній діяльності експертний підхід є найбільш дієвим з огляду на зміст мети – виявити зони уразливості дослідних зв'язків, що суттєво залежить від професійної винахідливості експертної групи. Водночас для підвищення наукової обґрунтованості необхідно застосовувати аналітичний інструментарій обробки експертних оцінок, зокрема, доцільним видається використати метод аналітичного ієрархічного процесу. Застосування цього методу дозволить реалізувати такі завдання:

- 1) формалізація зв'язків між характеристиками ЛТО та компонентами його якості;
- 2) обґрунтування вагомості кожного критерію у забезпеченні якості певного дослідного зразка ЛТО;
- 3) встановлення рівня значимості експертного оцінювання якості ЛТО шляхом оцінки рівня узгодженості їхньої позиції.

Опишемо особливості застосування методу аналітичного процесу для формування науково обґрунтованого інформаційного базису інформаційної моделі випробувань дослідних зразків. Авторське бачення представимо в етапізованій формі (рис. 3).



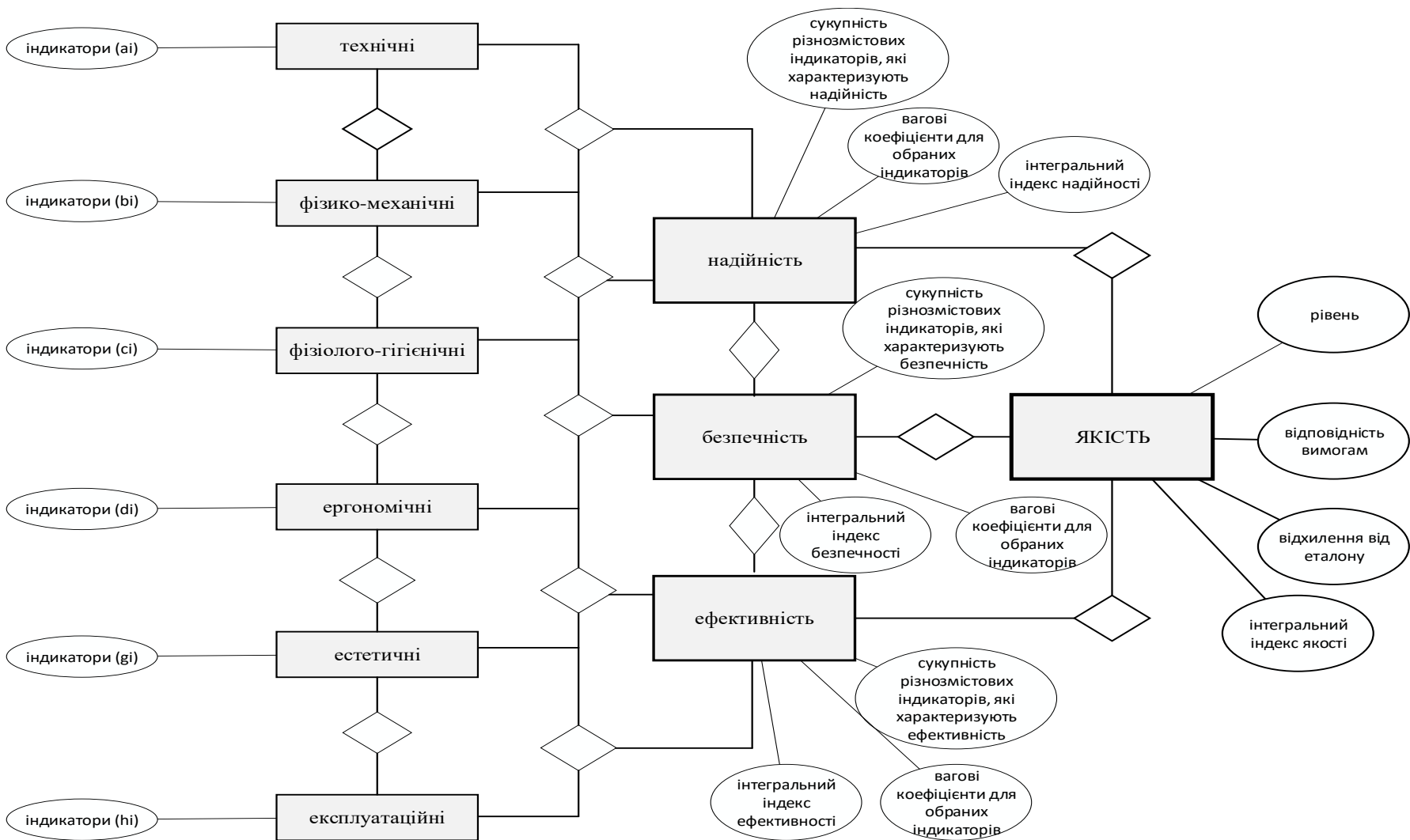


Рис. 3. ER діаграма інформаційного-структурного базису випробувань ЛТО на етапі оцінювання його якості

Зазначимо, що вихідною інформацією мають бути результати комплексних випробувань ЛТО за експертним підходом (табл. 1).

Таблиця 1. – Вихідні дані результатів випробувань ЛТО у розрізі їх характеристик

	$\{a_i\}$	$\{b_i\}$	$\{c_i\}$	$\{d_i\}$	$\{g_i\}$	$\{h_i\}$
$M_1$	$\{x_{1i}^{A,R}\}$	$\{x_{1i}^{B,R}\}$	$\{x_{1i}^{C,R}\}$	$\{x_{1i}^{D,R}\}$	$\{x_{1i}^{G,R}\}$	$\{x_{1i}^{H,R}\}$
$M_2$	$\{x_{2i}^{A,R}\}$	$\{x_{2i}^{B,R}\}$	$\{x_{2i}^{C,R}\}$	$\{x_{2i}^{D,R}\}$	$\{x_{2i}^{G,R}\}$	$\{x_{2i}^{H,R}\}$
...	...	...	...	...	...	...
$M_n$	$\{x_{ni}^{A,R}\}$	$\{x_{ni}^{B,R}\}$	$\{x_{ni}^{C,R}\}$	$\{x_{ni}^{D,R}\}$	$\{x_{ni}^{G,R}\}$	$\{x_{ni}^{H,R}\}$

Позначення:  $\{a_i\}, \{b_i\}, \{c_i\}, \{d_i\}, \{g_i\}, \{h_i\}$  – елементи множин відповідно  $A, B, C, D, G, H$  та представлені оціночними індикаторами характеристик ЛТО (наприклад,  $A$  – множина оціночних індикаторів технічних характеристик ЛТО);  $\{x_{ji}^A\}, \{x_{ji}^B\}, \{x_{ji}^C\}, \{x_{ji}^D\}, \{x_{ji}^G\}, \{x_{ji}^H\}$  – експертні оцінки випробувань ЛТО у розрізі його технічних, фізико-механічних, фізіолого-гігієнічних, ергономічних, естетичних та експлуатаційних характеристик;  $j$  – номер дослідного зразка ЛТО ( $j = \overline{1, n}$ );  $i$  – номер оціночного індикатора певної характеристики ЛТО.

Зауважимо, що у рамках першого етапу необхідно сформувати укрупнені вихідні дані стосовно кількісних результатів випробувань ЛТО за всією експертною групою. Для цього доречно використати підхід, описаний у праці [11].

Далі розкриємо особливості застосування методу аналітичного процесу для вирішення поставлених завдань.

**Етап 1.** Формування матриці ваг вагомості впливу характеристик ЛТО на забезпечення його якості у тривимірному критеріальному просторі «надійність – безпека - ефективність». У табл. 2 представлено логіку обґрунтування вагомості взаємозв’язків відповідних характеристик ЛТО на компоненти його якості (надійність, безпечність, ефективність) та рівень узгодженості позиції експертів.

Зазначимо, для встановлення ваг вагомості ( $a_{ij}$ ) використовуємо шкала Сааті, згідно з якою якісним характеристикам ступеня переваги одного елемента над іншим присвоюються відповідні числові значення ( $a_{ij}$ ) за такою логікою: нейтральна вагомість – 1:1; слабка вагомість – 2:1 та 3:1; істотна вагомість – 4:1 та 5:1; явна вагомість – 6:1 та 7:1; абсолютна вагомість – це 8:1 та 9:1. При цьому, якщо при порівнянні одного елемента з другим, тримане одне з вищевказаних чисел (1–9), то при порівнянні другого з першим, матимемо обернену величину (1):

$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, \forall i, j = \overline{1, n}. \tag{1}$$

Таблиця 2. – Матриця вагомості впливу характеристик ЛТО на компоненти його якості (на прикладі впливу технічних характеристик ЛТО на його надійність)

$A \rightarrow R$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	...	$a_n$	Нормований вектор матриці вагомості
$a_1$	1	$a_{12}$	$a_{13}$	$a_{14}$	...	$a_{1n}$	$a_1^{AR\_norm}$
$a_2$	$1/a_{12}$	1	$a_{23}$	$a_{24}$	...	$a_{2n}$	$a_2^{AR\_norm}$
$a_3$	$1/a_{13}$	$1/a_{23}$	1	$a_{34}$	...	$a_{3n}$	$a_3^{AR\_norm}$
$a_4$	$1/a_{14}$	$1/a_{24}$	$1/a_{34}$	1	...	$a_{4n}$	$a_4^{AR\_norm}$
...	...	...	...	...	1	...	...
$a_n$	$1/a_{1n}$	$1/a_{2n}$	$1/a_{3n}$	$1/a_{4n}$	...	1	$a_n^{AR\_norm}$
Загальний підсумок	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	x

*Примітка.* Матриця повинна заповнюватися кожним членом експертної групи, після чого представлені дані укрупнюються на рівні окремої характеристики ЛТО за показником середньої арифметичної зваженої. З огляду на аксіому пов’язаності, яка лежить в основі цього методу, об’єктом зважувань є лише цифрові дані верхньої правої частини матриці, а нижня ліва частина матриці заповнюватиметься за формулою (1).

Аналогічно ваги вагомості визначаються для всіх інших характеристик з позиції їх впливу на компоненти якості ЛТО. З огляду на наші вихідні дані (шість характеристик ЛТО та три компоненти якості ЛТО) мати місце 18 матриць вагомості впливу. Для забезпечення науково-обґрунтованої оцінки випробувань дослідних зразків льотного обмундирування необхідно на кожному з цих етапів визначити рівень узгодженості позиції експертів. Для цього використовується такий інструментарій:

- 1) нормований вектор матриці вагомості ( $A_i$ )

$$A_i = \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}} \quad (2)$$

- 2) індекс узгодженості ( $I_y$ )

$$I_y = \frac{|\lambda_{max} - n|}{(n-1)}, \quad (3)$$

- 3) найбільше власне число матриці вагомості  $A_i$  ( $\lambda_{max}$ )

$$\lambda_{max} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n a_{ij}, \quad (4)$$

- 4) відношення узгодженості ( $B_y$ ) вагомості  $A_i$

$$B_y = \frac{I_y}{TI_y}, \quad (5)$$

де  $TI_y$  – табличне значення індексу. Згідно з методологією підходу аналітичного процесу показник відношення узгодженості не повинен перевищувати 10 %. Дотримання цієї умови є передумовою до переходу до наступного етапу процесу підвищення науково-обґрунтованості інформаційного забезпечення випробувальної діяльності.

**Етап 2.** Формування матриці ваг вагомості впливу характеристик конкретних дослідних зразків ЛТО на забезпечення його якості у тривимірному критеріальному просторі «надійність – безпека - ефективність». У загальному вигляді це представлено в табл. 3.

*Таблиця 3 – Матриця вагомості впливу характеристик дослідних зразків ЛТО на компоненти його якості (на прикладі впливу технічних характеристик дослідних зразків ЛТО на його надійність)*

$A, B, C, D, G, H \rightarrow R$	A	B	C	D	G	H	Нормований вектор матриці вагомості
$M_1$	$r_{11}$	$r_{12}$	$r_{13}$	$r_{14}$	$r_{15}$	$r_{16}$	$r_1^{norm}$
$M_2$	$r_{21}$	$r_{22}$	$r_{23}$	$r_{24}$	$r_{25}$	$r_{26}$	$r_2^{norm}$
$M_3$	$r_{31}$	$r_{32}$	$r_{33}$	$r_{34}$	$r_{35}$	$r_{36}$	$r_3^{norm}$
$M_4$	$r_{41}$	$r_{42}$	$r_{43}$	$r_{44}$	$r_{45}$	$r_{46}$	$r_4^{norm}$
...	...	...	...	...	...	...	...
$M_n$	$r_{n1}$	$r_{n2}$	$r_{n3}$	$r_{n4}$	$r_{n5}$	$r_{n6}$	$r_n^{norm}$
Загальний підсумок	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	$\Sigma$	x

*Примітка.* Така матриця повинна заповнюватися кожним членом експертної групи, після чого представлені дані укріплюються на рівні окремої характеристики ЛТО за показником середньої арифметичної зваженої. З огляду на аксіому пов'язаності, яка лежить в основі цього методу, об'єктом зважувань є лише цифрові дані верхньої правої частини матриці, а нижня ліва частина матриці заповнюватиметься за формулою (1). За аналогічним підходом також будують матриці впливу характеристик дослідних зразків ЛТО на його безпечність та ефективність.

Для кожної матриці вагомості впливу характеристик дослідних зразків ЛТО на компоненти його якості визначається нормований вектор матриці вагомості за формулою (2) та відношення узгодженості ( $B_y$ ) матриці вагомості за формулою (5).

**Еман 3.** Заключним етапом є визначення показника «Глобальний пріоритет», що дозволяє ранжувати дослідні зразки ЛТО за критерієм вагомості забезпечення якості ЛТО, визначені у тривимірному просторі «надійність – безпечність – ефективність».

Таблиця 4 – Матриця укрупненої вагомості впливу дослідних зразків ЛТО на компоненти його якості

Дослідний зразок ЛТО	Вагомість впливу характеристик ЛТО на:			Глобальний пріоритет
	надійність (R)	безпечність (S)	ефективність (E)	
	Числові значення вектора вагомості оціночних критеріїв (Ai)			
	$a_{general}^{R, norm}$	$a_{general}^{S, norm}$	$a_{general}^{E, norm}$	
$M_1$	$r_1^{norm}$	$s_1^{norm}$	$e_1^{norm}$	$glob_1^{pr}$
$M_2$	$r_2^{norm}$	$s_2^{norm}$	$e_2^{norm}$	$glob_2^{pr}$
$M_3$	$r_3^{norm}$	$s_3^{norm}$	$e_3^{norm}$	$glob_3^{pr}$
$M_4$	$r_4^{norm}$	$s_4^{norm}$	$e_4^{norm}$	$glob_4^{pr}$
...	...	...	...	...
$M_n$	$r_n^{norm}$	$s_n^{norm}$	$e_n^{norm}$	$glob_n^{pr}$

*Примітка.* Така матриця повинна заповнюватися кожним членом експертної групи, після чого представлені дані укрупнюються на рівні окремої характеристики ЛТО за показником середньої арифметичної зваженої.

Зазначимо, що імплементація методу аналітичного процесу у систему експертного оцінювання якості ЛТО у межах випробувальної роботи дозволяє досягнути таких ефектів:

1) попарно визначається сила впливу окремих характеристик ЛТО на його якість через призму її компонент;

2) на підставі розрахунку показника «відношення узгодженості» здійснюється контроль за рівнем узгодженості позиції експертів та наявності / відсутності неприпустимих розбіжностей;

3) забезпечується можливість виокремлення зон вразливості окремих дослідних зразків ЛТО в розрізі обраних оціночних критеріїв;

4) можливість ранжування дослідних зразків ЛТО за рівнем їхньої якості, яка мислиться як комплексна багатоаспектна категорія.

На наше переконання, представлена методологія дозволяє підвищити наукову обґрунтованість випробувань дослідних зразків ЛТО.

**Висновки.** Таким чином, розроблена інформаційна модель у спрощеному структурованому вигляді розкриває авторську методологію випробувань ЛТО. Наявність такої інформаційної моделі дозволяє надалі розробляти автоматизовані системи накопичення експериментальних даних і експертних оцінок за результатами випробувань для прийняття обґрунтованих рішень щодо виробництва і закупівлі ЛТО для потреб Збройних Сил України.

Вказані у дослідженні особливості алгоритмізації робіт потрібно враховувати при виборі інформаційно-методичних підходів, на базі яких буде побудовано методики випробувань. Розроблений підхід оцінки ЛТО можливо застосувати для визначення достовірної оцінки характеристик об'єкта випробувань за статистичними критеріями з прийнятою ймовірністю. Головним науковим результатом дослідження є обґрунтування теоретико-методологічних положень концепції експертної оцінки озброєння та військової техніки на прикладі ЛТО.

#### Список використаних джерел

- Orr D. J. Evaluation of military flight suit comfort in extreme environments / D. J. Orr, J. A. Pope, M. A. Greer // Aviation, Space, and Environmental Medicine. – 2019. № 90(5). – Pp. 466-472. – DOI: 10.3357/ASEM.5285.2019.
- Development of a Performance Evaluation System for Flight Clothing / J. Kim, J. Park, S. Hwang, H. Kim, D. Shin // Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles. – 2020. – № 44(6). – Pp. 1036-1045. – DOI: 10.5850/JKSCT.2020.44.6.1036.

3. Pilcher A. C. Evaluation of flight suit design features for enhanced comfort and performance / A. C. Pilcher, J. A. Smith, J. A. Witherington // *Aerospace Medicine and Human Performance*. – 2018. – № 89(1). – Pp. 28-33. – DOI: 10.3357/AMHP.4880.2018.
4. An Ergonomic Design of Flight Suit Pattern According to Wearing characteristics / Jeon Eun-Jin Jeong, Jeong Rim, Kim Hee-Eun, Park Seikwon, You Heecheon // *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. – 2011. – № 55. – DOI: 10.1177/1071181311551460.
5. Voskuijl S. Evaluation of the New Generation Flight Suit / S. Voskuijl, E. Nijmeijer, E. Kouwenhoven // *TNO Technical Report, TNO-2014-R10655*. – Nov. 2014.
6. Keiser J.R. Evaluation of Protective Clothing for Cold Weather Flying Operations / J. R. Keiser // *USAF Technical Report, USAFSAM-TR-09-03*. – Mar. 2009.
7. Sinclair P. R. Evaluation of Aircrew Clothing and Equipment for High Altitude Operations / P. R. Sinclair, J. F. Fraser // *Defence Research and Development Canada Technical Report, DRDC Toronto CR 2003-085*. – Jun. 2003.
8. Delaunay F. Evaluation of Protective Clothing for High G Accelerations / F. Delaunay, S. Laporte, C. Lantieri // *Defence Research and Development Canada Technical Report, DRDC Valcartier TR 2020-052*. – 2020.
9. Gregersen P. H. Performance evaluation of a cold weather flight suit / P. H. Gregersen, M. F. Løkke, L. P. Mikkelsen // *Technical Report, Danish Defence Acquisition and Logistics Organisation*. – 2019.
10. A study of thermal comfort properties of the new generation of Nomex flight suits / J. M. Viegas, J. A. Ferreira, A. J. Coelho, H. Lopes // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. – 2017. – № 23(1). – Pp. 60-67.
11. Алгоритм ергономічної оцінки дослідних зразків льотно-технічного обмундирування / О. В. Андрієнко, В. Т. Бояров, К. І. Кайдаш, О. М. Чередніков, Є. В. Хмель // *Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. – 2021. – Вип. 4(10). – С. 5-13.
12. Концептуальний підхід до визначення вимог до фізико-механічних властивостей тканин для виготовлення льотно-технічного обмундирування для авіації Збройних Сил України / Є. В. Хмель, О. О. Корольов, О. В. Андрієнко, О. І. Бойченко // *Наукові праці Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки*. – 2022. – Вип. 2(12). – С. 145–151. – DOI: <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.15>.
13. Ключніков І. М. Тенденції удосконалення екіпіровки військового льотчика / І. М. Ключніков, А. Г. Єрилкін, О. М. Марченко // *Наука і техніка Повітряних Сил ЗСУ*. – 2017. – № 1(26). – С. 27–29.
14. Червотока О. В. Аналіз методичного апарату проведення лабораторних випробувань речового майна / О. В. Червотока, М. О. Геращенко, І. М. Лаппо // *Проблеми якості оборонної продукції: організаційні, технічні та фінансово-економічні аспекти : матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції (Київ, 30 червня 2022 року) / ред. І.М. Ткач; Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського*. – К., 2022. – С. 167-169.
15. Evaluation of Nomex Flight Suits and Undergarments. Technical Report AFRL-RX-TP-2017-01316 [Electronic resource] / U.S. Air Force Research Laboratory. – 2017. – Accessed mode: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048784.pdf>
16. Evaluation of Cold Weather Clothing Systems. Technical Report T19-3 [Electronic resource] / U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine. – 2019. – Accessed mode: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1097248.pdf>.
17. IATA. Evaluation of the Suitability of Protective Clothing for Use in Civil Aviation. Technical Report. – 2018.
18. Lagattolla F. Testing and Evaluation of Personal Protective Equipment for the Royal Air Force (RAF) / F. Lagattolla, R. Proctor // *Defence Procurement International*. – 2019. – Pp. 18-19.
19. Підсумковий звіт військових випробувань дослідних зразків льотно-технічного обмундирування для льотно-технічного складу авіації Повітряних Сил Збройних Сил України, що розроблено Товариством з обмеженою відповідальністю “РА.ДА” та вироблено Торгівельно-виробничою фірмою “ІНТЕРОН”. – 2022. – 18 с.

### References

1. Orr, D.J., Pope, J.A., & Greer, M.A. (2019). Evaluation of military flight suit comfort in extreme environments. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 90(5), 466-472. doi:10.3357/ASEM.5285.2019.

2. Kim, J., Park, J., Hwang, S., Kim, H., & Shin, D. (2020). Development of a Performance Evaluation System for Flight Clothing. *Journal of the Korean Society of Clothing and Textiles*, 44(6), 1036-1045. doi:10.5850/JKSCT.2020.44.6.1036.
3. Pilcher, A.C., Smith, J.A., & Witherington, J.A. (2018). Evaluation of flight suit design features for enhanced comfort and performance. *Aerospace Medicine and Human Performance*, 89(1), 28-33. doi:10.3357/AMHP.4880.2018.
4. Jeon Eun-Jin Jeong, Jeong Rim, Kim Hee-Eun, Park Seikwon, You Heecheon. (2011). An Ergonomic Design of Flight Suit Pattern According to Wearing characteristics. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 55. 10.1177/1071181311551460.
5. Voskuil, S., Nijmeijer, E., & Kouwenhoven, E. (Nov. 2014). Evaluation of the New Generation Flight Suit. *TNO Technical Report, TNO-2014-R10655*.
6. Keiser, J.R. (Mar. 2009). Evaluation of Protective Clothing for Cold Weather Flying Operations. *USAF Technical Report, USAFSAM-TR-09-03*.
7. Sinclair, P.R., & Fraser, J.F. (Jun. 2003). Evaluation of Aircrew Clothing and Equipment for High Altitude Operations. *Defence Research and Development Canada Technical Report, DRDC Toronto CR 2003-085*.
8. Delaunay, F., Laporte, S., & Lantieri, C. (2020). Evaluation of Protective Clothing for High G Accelerations. *Defence Research and Development Canada Technical Report, DRDC Valcartier TR 2020-052*.
9. Gregersen, P. H., Løkke, M. F., & Mikkelsen, L. P. (2019). Performance evaluation of a cold weather flight suit. *Technical Report, Danish Defence Acquisition and Logistics Organisation*.
10. Viegas, J. M., Ferreira, J. A., Coelho, A. J., & Lopes, H. (2017). A study of thermal comfort properties of the new generation of Nomex flight suits. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 23(1), 60-67.
11. Andriienko, O.V., Boiarov, V.T., Kaidash, K.I., Cherednikov, O.M., & Khmel, Ye.V. (2021). Alhorytm erhonomichnoi otsinky doslidnykh zrazkiv lotno-tekhnichnoho obmundryvannia [Algorithm of ergonomic assessment of test samples of flight-technical uniforms]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky – Collection of scientific works of the State Research Institute of Testing and Certification of Weapons and Military Equipment*, 4(10), 5-13.
12. Khmel, Ye.V., Korolov, O.O., Andriienko, O.V., & Boichenko, O.I. (2022). Kontseptualnyi pidkhid do vyznachennia vymoh do fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei tkanyn dlia vyhotovlennia lotno-tekhnichnoho obmundryvannia dlia aviatsii Zbroinykh Syl Ukrainy [A conceptual approach to determining the requirements for the physical and mechanical properties of fabrics for the production of flight technical uniforms for the aviation of the Armed Forces of Ukraine]. *Naukovi pratsi Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu vyprobuvan i sertyfikatsii ozbroiennia ta viiskovoi tekhniky – Scientific works of the State Research Institute of Testing and Certification of Armaments and Military Equipment*, 2(12), 145–151. <https://doi.org/10.37701/dndivsovt.12.2022.15>.
13. Kliushnikov, I.M., Yerylkin, A.H., Marchenko, O.M. (2017). Tendentsii udoskonalennia ekipirovky viiskovoho lotchyka [Trends in the improvement of military pilot equipment]. *Nauka i tekhnika Povitrianykh Syl ZSU – Science and technology of the Air Force of the ZSU*, 1(26), 27–29.
14. Chervotoka, O.V., Herashchenko, M.O., Lappo, I.M. (2022). Analiz metodychnoho aparatu provedennia laboratornykh vyprobuvan rechovoho maina [Analysis of the methodical apparatus for conducting laboratory tests of tangible property]. *Problemy yakosti oboronnoi produktsii: orhanizatsiini, tekhnichni ta finansovo-ekonomichni aspekty: materialy IV Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Problems of the quality of defense products: organizational, technical and financial and economic aspects: materials of the 4th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 167-169).
15. U.S. Air Force Research Laboratory. (2017). Evaluation of Nomex Flight Suits and Undergarments. Technical Report AFRL-RX-TP-2017-01316. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1048784.pdf>.
16. U.S. Army Research Institute of Environmental Medicine. (2019). Evaluation of Cold Weather Clothing Systems. Technical Report T19-3. <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/1097248.pdf>.
17. IATA. (2018). Evaluation of the Suitability of Protective Clothing for Use in Civil Aviation. Technical Report.

18. Lagattolla, F., & Proctor, R. (2019). Testing and Evaluation of Personal Protective Equipment for the Royal Air Force (RAF). *Defence Procurement International* (pp. 18-19).

19. Pidsumkovyi zvit viiskovykh vyprobuvan doslidnykh zrazkiv lotno-tekhnichnoho obmundryvannia dlia lotnoho skladu aviatsii Povitrianykh Syl Zbroinykh Syl Ukrainy, shcho rozrobleno Tovarystvom z obmezhenoiu vidpovidalnistiu "RA.DA" ta vyrobлено Torhivelno-vyrobnychoiu firmoiu "INTERON" [Final report of military tests of test samples of flight and technical uniforms for the aviation personnel of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine, developed by the Limited Liability Company "RA.DA" and produced by the Trade and Production Company "INTERON"]. (2022).

Отримано 18.02.2023

UDC 629.7.004

**Myroslava Khutorna<sup>1</sup>, Oleg Cherednikov<sup>2</sup>, Nataliia Pantieleieva<sup>3</sup>, Oleksandr Andrienko<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Economic Sciences, Professor, Senior Research Fellow  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: [miroslava7@gmail.com](mailto:miroslava7@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0761-3021>

ResearcherID: [E-4780-2019](https://orcid.org/0000-0003-0761-3021). Scopus Author ID: [57207767142](https://orcid.org/0000-0003-0761-3021)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Senior Research Fellow  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: [cheronoleg52@gmail.com](mailto:cheronoleg52@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1258-590X>

<sup>3</sup>Doctor of Economics, Professor, Senior Research Fellow  
State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: [npantieleeva2017@gmail.com](mailto:npantieleeva2017@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6457-6912>

ResearcherID: [V-5142-2019](https://orcid.org/0000-0001-6457-6912). Scopus Author ID: [57203140234](https://orcid.org/0000-0001-6457-6912)

<sup>4</sup>PhD in Psychology Sciences, Senior Research Fellow, State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Cherkasy, Ukraine)

E-mail: [flater2009@ukr.net](mailto:flater2009@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0339-5445>

## INFORMATION MODEL OF TESTS OF EXPERIMENTAL SAMPLES OF FLIGHT TECHNICAL SUITS

*Providing modern flight and technical uniforms to the aviation crew of the Armed Forces of Ukraine is an important task, taking into account the multitude of adverse factors affecting the performance of professional duties by the personnel, especially in the conditions of hostilities. This implies the need and obligation to confirm the quality of flight technical suits (FTS) for the ability to reliably provide comfort and safety, which, in turn, requires testing at a high scientific and methodological level with the development of new approaches to information support and evaluation of objects of suitability tests before making a decision on the supply and/or launch of FTS in serial production.*

*The purpose of the work is the development of an information model of tests of prototypes of flight suits to expand the informational and methodological basis of scientifically based assessment of tests of prototypes of FTS.*

*The conceptual scheme of the information model of the researched process is presented; the criterion essences of the formalization of the FTS quality evaluation process within the framework of the testing activity were substantiated, namely: 1) the theoretical decomposition of the concept of the FTS quality was carried out; 2) an informational model for evaluating the quality of FTS based on the process approach was formed; 3) the complexity of interrelationships between content elements of FTS quality is substantiated and a model of the informational and methodological basis is presented in order to increase the scientific validity of the results of testing activities. Proposals for the use of the analytical process method to improve the quality of expert evaluation of experimental samples have been developed and the effects of implementing this method in the system of expert evaluation of the quality of FTS as part of the trial work have been substantiated.*

**Keywords:** test; information model; flight technical suits; experimental samples; requirements; methodical support.

Fig.: 3. Table: 4. References: 19.

**Микола Гумен<sup>1</sup>, Дмитро Кущевський<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, заступник декана факультету аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Національний авіаційний університет (Київ, Україна)

E-mail: [mbugumen@ukr.net](mailto:mbugumen@ukr.net), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7935-6496>

<sup>2</sup>студент освітнього ступеня магістр

Національний авіаційний університет (Київ, Україна)

E-mail: [dima.kushhevskij@gmail.com](mailto:dima.kushhevskij@gmail.com)

**СИСТЕМА ВИЯВЛЕННЯ ПРОНИКНЕНЬ НА БАЗІ UWB-ТЕХНОЛОГІЇ**

*Розглянуто та проаналізовано системи контролю доступу персоналу для забезпечення захисту від зовнішніх та внутрішніх правопорушників. Розроблено систему виявлення сторонніх осіб у приміщеннях установ та організацій. Проаналізовано стандарти RFID, BLE, WiFi, UWB та актуальність їх застосування в запропонованій системі. Для реалізації в системі обрано стандарт бездротового зв'язку UWB (802.15.4z). Система дає змогу ідентифікувати уповноважених працівників та виявляти зловмисників у реальному часі без розпізнавання облич та складних алгоритмів машинного навчання.*

**Ключові слова:** система контролю доступу, виявлення проникнень, зловмисник, анкор, тег, надширокопосмугова технологія, комп'ютерний зір, згортовка нейронна мережа, бездротова технологія.

Табл.: 4. Рис.: 4. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** В умовах стрімкого впровадження бездротової передачі інформації та жорсткої конкурентної боротьби на ринку інформаційних технологій дотримання умов секретності та протидії витоків інформації актуальною є проблема забезпечення контрольованого доступу до обладнання та приміщень об'єктів різноманітного призначення.

На сьогодні системи контролю та управління доступом, різні за об'ємом функціонала та складністю, дедалі більше застосовуються в навчальних (університет, школа, дитячий садок), робочих (офіси, коворкінг), промислових (фабрики, заводи) установах та організаціях. Такі системи дають змогу в реальному часі фіксувати та реєструвати пересування осіб, а також реагувати на випадки неправомірного проникнення.

Не менш важливим є завдання виявлення правопорушників. Безумовно, чим більший штат установи, тим легше злочинцю перебувати всередині та виконувати задумане. Так, можливість мати фізичний доступ до каналів зв'язку та комп'ютерів спричинює цілий спектр загроз, починаючи від фізичної крадіжки обладнання та закінчуючи компрометацією установ та організацій.

**Постановка проблеми.** Більшість установ та організацій мають просту систему авторизації, яка містить пасивну RFID (Radio Frequency IDentification – радіочастотна ідентифікація) карту та камери, за якими слідкує оператор. Пасивні RFID карти являють собою крихітний радіоприймач, якому для активації та передачі сигналу відповіді достатньо потужності магнітного поля. При спрацьовуванні електромагнітним імпульсом опитування від найближчого пристрою зчитування RFID тег передає у зворотному напрямку до зчитувача цифрові дані, зазвичай ідентифікаційний номер. Цю технологію використовують у таких системах контролю доступу, як турнікети, двері з магнітним замком тощо.

Системи подібного типу мають багато недоліків, спричинених якістю карт, їхньою стійкістю до підробки, людським фактором (охороною на вході до об'єкта та персоналом, який контролює камери).

Людський фактор доволі просто дає змогу зловмисникам спочатку, проаналізувавши роботу компанії або підприємства, вивчити поведінку співробітників, а потім, використовуючи техніки соціальної інженерії та технічні засоби, потрапити в будівлю.

Рішення, які є на ринку, наприклад, AJAX StarterKit Cam Plus, AJAX DualCurtain Outdoor та інші, націлені на захист від втручання в той час, коли офіс зачинений, але



вони не здатні ідентифікувати зловмисника в робочий час, що створює прогалину в системі безпеки. Використання розпізнавання обличчя для вирішення цього завдання не завжди є достатньо ефективним, бо потребує хорошої якості камер або їх великої кількості, спеціалізованого програмного забезпечення та ускладнює процес прийому і звільнення співробітників [1].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Серед останніх досліджень можна виділити такі, що спрямовані на оптимізацію використовуваних протоколів та технологій [2]. Результати зазначених досліджень дають змогу покращити показники енергоспоживання та стабільності датчиків, які гарно підходять для осель, але вони не вирішують проблему проникнення в установи й зорієнтовані на примітивні системи детектування відкривання дверей, вікон та руху в приміщенні. Також є рішення, які реалізують нові підходи [3], а саме використання пасивних інфрачервоних датчиків (PIR) для виявлення руху та алгоритми комп'ютерного зору. Такі рішення хоч і є доповненням до існуючих систем захисту від проникнень, але вони зберігають головний недолік, а саме неможливість роботи у приміщеннях, де є авторизовані та неавторизовані особи.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У наявних дослідженнях та публікаціях мало приділено уваги системам контролю та управління доступом, які дають змогу в реальному часі ідентифікувати працівників установ та організацій та виявляти зловмисників у приміщеннях на базі алгоритмів без розпізнавання обличчя.

**Метою статті** є розробка системи автоматичної ідентифікації людей у приміщенні без розпізнавання обличчя на основі бездротових технологій і алгоритмів комп'ютерного зору.

**Виклад основного матеріалу.** Розроблена система виявлення проникнень на базі алгоритмів комп'ютерного зору та бездротової UWB (Ultra-Wide Band – ультраширокий діапазон) технології складається зі стереокамер із вбудованими в них чипами, що підтримують UWB стандарт (далі – анкори), бездротових UWB девайсів, керуючого сервера та програмного забезпечення (ПЗ).

Запропонована реалізація системи потребує вирішення таких завдань: визначити кількість людей у кімнаті, виміряти відстань від камери до кожної особи, виявити порушника та створити повідомлення для відділу безпекової діяльності установи. Ясна річ, що чим більше камер ми будемо використовувати, тим точніше можна визначити кількість та позицію осіб у приміщенні, а отже, більш надійною буде система.

Для зрозумілого опису системи обираємо приміщення прямокутної форми, у якій можуть знаходитися чотири особи, три з яких є співробітниками установи, а одна особа є зловмисником. Будемо вважати, що приблизна площа на одну особу становить  $7,5 \text{ м}^2$ . Тоді довжина кімнати може дорівнювати 5 м, ширина 6 м, а висота 3 м.

Освітленість приміщення повинна забезпечити адекватне функціонування відеообладнання і бути не меншою за допустиме середнє значення освітленості, яке, зазвичай, становить 300 люкс. Додаткові предмети в приміщенні відсутні, зважаючи на те, що в кімнатах зловмисник не буде ховатись, оскільки це приверне увагу співробітників і приведе до його розкриття.

Для покриття простору, зменшення похибки розрахунку відстані від камер до особи та для демонстрації прийнятих рішень скористаємося трьома камерами.

Встановлено, що для виявлення обличчя людини на зображенні достатньо 4 пікселів (табл. 1). Оскільки обличчя дорослої людини становить  $\frac{1}{8}$  частку від зображення його тіла, то мінімальний розмір людини на зображенні повинен становити трохи більше за 32 пікселі.

З урахуванням зазначеного, а також заявлених вимог до параметрів кімнати, для яких найбільша відстань до об'єкта не перевищує 7...8 метрів, нам підходить більшість камер на ринку [4].

Таблиця 1 – Відношення якості картинки до точності обробки об'єктів

Вид операції	Допустимі значення		
	піксель/обличчя	піксель/см	піксель/дюйм
Ідентифікація (складні умови)	80	5	12,5
Ідентифікація (сприятливі умови)	40	2,5	6,3
Розпізнання	20	1,25	3,2
Детектування (виділення)	4	0,25	0,6

Джерело: розроблено авторами.

### Вибір методів виділення об'єктів на зображенні та визначення відстані до них.

Для розрахунку відстані до людей необхідно виявити їх на зображенні камери та визначити координати обмежуючих прямокутників. Метод виділення об'єктів на входних зображеннях – це алгоритм чи нейронна мережа, які вирішують задачу знаходження об'єкта в кадрі відео (рис. 1). На сьогодні є низка найуживаніших методів, які застосовуються для вирішення цієї задачі.

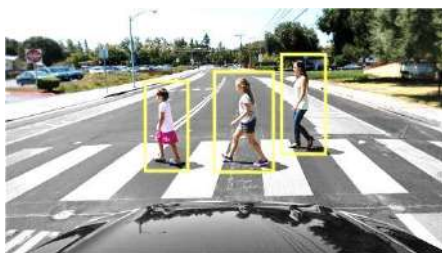


Рис. 1. Виділення об'єкта на зображенні

Джерело: розроблено авторами.

Алгоритм DPM (Deformable Part Models) ґрунтується на виявленні різних частин зображення та їх відносного положення для того, щоб потім визначити, чи є в кадрі об'єкт інтересу (зацікавленості) [5]. Так, наприклад, на основі певних ознак голови, рук, ніг, очей, торсу людини та за їхнім місцем положення на кадрі відео можна прийняти рішення про те, чи є на зображенні особа, для якої зазначені ознаки спрацьовують. Такий підхід дозволив побудувати модель, яка може працювати зі значною кількістю варіацій положень об'єктів, що виділяються.

Згорткова нейронна мережа R-CNN (Region Based Convolutional Neural Networks) [6]. Це одна з низки згорткових нейронних мереж (ЗНМ), використовуваних для розпізнавання конкретних образів на зображеннях, які подані масивами даних. У R-CNN реалізовано двоетапний алгоритм виділення об'єктів на основі регіональних зон інтересу. На початковому кроці двоетапного алгоритму ідентифікуються підмножини областей, які можуть містити об'єкт. На другому кроці класифікуються об'єкти цих областей.

Двоетапні алгоритми характеризуються дуже точними результатами розпізнавання об'єктів, однак за швидкодією поступаються одноетапним. Зумовлено це тим, що об'єкти можуть мати різні просторові розташування в межах зображення та різні співвідношення сторін обмежувальних прямокутників, а це потребує генерації величезної кількості областей інтересу.

Для мережі R-CNN кількість таких областей різних розмірів і співвідношень сторін не перевищує 2000, а їхнє формування здійснюється з використанням алгоритму вибіркового пошуку [6]. До характерних недоліків алгоритму належить його фіксованість, а отже, неможливість навчання мережі на початковому етапі та розв'язання задач розпізнавання об'єктів у режимі реального виміру часу.

Запропоновані пізніше ЗНМ Fast R-CNN та Faster R-CNN є більш швидкодіючими в порівнянні з базовою R-CNN мережею [7, 8]. При цьому швидкодія Faster R-CNN більша за швидкодію R-CNN у 245 разів, а Fast R-CNN у 11,5 разів, забезпечує можливість їхнього застосування для виявлення об'єктів у режимі реального часу.

You only look once (YOLO) є одноетапною ЗНМ архітектурою для виявлення об'єктів із повних зображень [9]. Модель працює за принципом розділення зображення на квадратні комірки, кожна з яких подається певною кількістю обмежувальних прямокутників. Далі для кожного обмежувального прямокутника мережа прогнозує ймовірність розта-

шування певного класу об'єкта. На завершальному етапі виділяються тільки ті прямокутники, в яких ймовірність розташування об'єкта вище за встановлене порогове значення. Точність застосування такого методу низька (особлива характерна помилка передбачення положення об'єкта), проте метод може обробляти від 45 кадрів відео в секунду та до 155 кадрів на секунду з оптимізованою моделлю.

*Single Shot MultiBox Detector (SSMD)* мережа запропонована в 2015 році [10]. Особливість моделі полягає у реалізації в ній трьох технік: одиничного проходу, мультибоксів, детектування. Техніка одиничного проходу забезпечує виокремлення областей інтересу та класифікація в один етап. Техніка мультибоксів дає змогу у фазі навчання сформувати області інтересу з фіксованими розмірами, за допомогою яких знаходяться об'єкти в режимі реального виконання, а техніка виявлення поєднує в собі одночасно і функціонал детектування та розпізнавання. Для оптимізації точності в моделі передбачено перевертання, обрізання та трансформація кольорів вхідного зображення.

*EfficientDet*. Сімейство ЗНМ *EfficientDet* є удосконаленням мережі *EfficientNet* [11] шляхом доповнення останньої шаром зі зваженою двонаправленою пірамідою ознак (BiFPN), що дає змогу легко і швидко об'єднувати багатомасштабні функції. На відміну від традиційних підходів у сімействі мереж *EfficientDet* реалізовано комплексний метод рівномірного та одночасного масштабування для всіх шарів мережі таких її параметрів, як *ширина, глибина та роздільна здатність, з фіксованим набором коефіцієнтів масштабування*. Практична реалізація зазначених методів забезпечила значне підвищення точності та ефективності сімейства мереж *EfficientDet*, а також зменшення на порядок вимог до значень параметрів та обчислювальних ресурсів порівняно з попередніми розробками ЗНМ.

*CenterNet* мережа на основі зображення генерує теплову карту, піки на якій відповідають центрам об'єктів. Розпізнавання образів на основі теплової карти можна, у деякому сенсі, розглядати як продовження одноетапного виявлення об'єктів. У той час як одноетапні алгоритми реалізують безпосереднє визначення координат прогнозованого обмежувального прямокутника, виявлення об'єктів за тепловою картою здійснюється на основі розподілу ймовірностей їх кутів або центрів. Розміщення цих кутових/центральної піків на теплових картах і визначає обмежувальні прямокутники. За швидкістю відповідні алгоритми все ще поступаються класичним одноетапним алгоритмам виявлення об'єктів.

На підставі аналізу особливостей методів виявлення об'єктів на зображеннях та даних табл. 2 в розробленій системі використана натренована модель на COCO 2017 *ssd\_mobilenet\_v3*, яка реалізована у фреймворку *tensorflow*.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика алгоритмів виявлення людей на зображенні

Показник	YOLOv4	SSMD	EfficientDet-D7x	CenterNet HardNet-85	DPM	R-CNN
Швидкість обробки, кадр/секунда	45	59	30	45	4	5
Середня точність, %	63,4	74,3	55,1	43	41,9	65
Обробка в режимі реального часу	Так	Так	Ні	Так	Ні	Ні

Джерело: розроблено авторами.

Отримавши картинку з обведеними людьми, нам необхідно визначити відносну відстань до кожної особи. Забезпечити достатню точність результату можна як апаратними, так і програмними засобами. Серед апаратних рішень доцільним є використання стереокамери замість звичайної з одним об'єктивом [12].

Більшість програмних алгоритмів оцінки відстані потребують даних про реальний зріст особи, що не є можливим у цій ситуації. Використання певного середнього значення може привести до значних похибок. Достатню точність оцінки відстані на основі зображень дає алгоритм SSD (Sum of squared difference) [13] (табл. 3).

Таблиця 3 – Результати вимірювання за допомогою стереокамери та алгоритму SSD

Реальна відстань, м	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
Розрахована відстань, м	0,51	1,03	1,55	2,09	2,63	3,17	3,7	4,24	4,8	5,37
Похибка, см	0,1	0,3	0,5	0,9	0,3	1,7	2	2,4	3,0	3,7

Джерело: розроблено авторами.

### Обґрунтування технології виявлення зловмисників.

За оцінками відстані на основі зображення можемо ідентифікувати всіх людей у при-міщенні. Наступним кроком буде ідентифікація у приміщенні тільки співробітників та визначення їх просторових координат (задача позиціонування). Із цією метою на стереокамері, як зазначалось раніше, встановлюється UWB чіп, а кожний співробітник отримує UWB тег. У зловмисника такий тег відсутній.

Підробка або копіювання тега є дуже складним завданням. При виборі тегів ми орієнтуємось як на ергономічні, так і певні технічні рішення, зокрема тег не повинен спричиняти дискомфорт, а отже, бути компактним, стійким до впливу завад, забезпечувати достатньо високу точність результату та мінімально можливо енергоспоживання.

Для вирішення вищезазначеного завдання застосовуються та інші методи, зокрема зорієнтовані на ультразвукові технології [14]. Проте для офісів – це не найкращий вибір, оскільки загасання ультразвукових хвиль при проходженні через об'єкти є значним.

Дані для порівняння використовуваних сучасних бездротових технологій наведені в табл. 4.

Таблиця 4 – Порівняння бездротових технологій

Показник	UWB	Bluetooth	WiFi	RFID	GPS
Місце експлуатації (Б- будівля, В -вулиця)	Б, В	Б, В	Б, В	Б, В	В
Точність, м	0.1	1...5 м	5...15 м	0.3...1 м	5...20 м
Зона покриття	70...250 м	15...100 м	50...150 м	1...5 м	-
Захищеність за 5 бальною шкалою	5	2	2	2	3
Споживання енергії в режимах передавання (TX) та приймання (RX)	5 ндж TX 9 ндж RX	15 ндж TX 15 ндж RX	50 ндж TX 50 ндж RX	>50 ндж	>50 ндж

Джерело: розроблено авторами.

Зазначимо, що головним недоліком систем позиціонування на основі технологій Wi-Fi та Bluetooth є використання відношення потужності сигналу до завади. Зловмисник апаратними засобами може продукувати шуми, а отже впливати на значення вказаного показника, що може спричинити некоректне визначення позиції та ідентифікації зловмисника.

Аналогічні наслідки можуть бути при реалізації зловмисниками в мережі релейної атаки. У цьому разі декілька зловмисників зв'язані між собою через мережу на великій відстані один від одного. Один зчитує дані з тегу особи-жертви, яка знаходиться далеко від приймача, а інший, розташований у зоні дії приймача, отримує сигнал через мережу від першого і транслює його радіоприймачу, маскуючись під жертву.

Бездротова технологія зв'язку UWB характеризується незначними витратами енергії, використовує як несучі надширококутні сигнали з невеликими значеннями спектральної щільності потужності. Пристрої UWB можуть вимірювати відстань та координати об'єкта з високою точністю, оскільки їх сигнал краще проходить крізь перешкоди, ніж сигнал існуючих бездротових мереж, таких як Wi-Fi та Bluetooth. Характеристики найпопулярніших UWB чіпів регулюються двома стандартами: більш старим 802.15.4a та сучасним 802.15.4z.

Оцінка відстані між анкором та тегом за UWB технологією ґрунтується на використанні часу поширення сигналу, тому релейні атаки в цьому разі не спрацьовують. Крім того, стандарт 802.15.4z містить покращення, що забезпечує протидію, наприклад, таким поширеним фізичним атакам, як раннє виявлення та запізнена фіксація (ED/LC – Early-Detect and Late-Commit), цитада тощо [15].

Під час атаки ED/LC зловмисник завчасно дізнається про структуру сигналу передавача тега тривалістю  $T_{sym}$  та значення його символів (рис. 2, а) і приймає сигнал передавача із затримкою (рис. 2, б), щоб пізніше ввести в оману приймачі сигналу щодо часу його надходження.

На цьому етапі (етапі раннього виявлення) приймач зловмисника виділяє початкову частину сигналу (перший символ) в межах часового проміжку  $T_{ED} < T_{sym}$  (рис. 2, б). Це можливо здійснити, оскільки зловмисник може розмістити свій приймач на незначній відстані до передавача.

У подальшому зловмисник формує сигнал за структурою, подібною до прийнятого сигналу від тега, але з послабленою початковою частиною на інтервалі  $T_{ED}$  та підсиленним залишком у межах  $T_{LC}$  так, щоб забезпечити більше значення відношення сигнал/завада для сформованого ним результуючого сигналу (рис. 2, в).

Сформований у такий спосіб сигнал зловмисника фіксується UWB чіпом на камері (анкором) з випередженням на часовий проміжок  $T_a$  за дійсний від тега. Ця обставина є критичною з огляду на те, що впливає на точність розрахунку відстані до тегів, а отже, і співробітників у приміщенні. Так, за значення  $T_a = 200$  нс похибка може становити близько 60 м.

Є низка методів визначення координат місцезнаходження пристрою, тобто розв'язання задачі позиціонування об'єкта в просторі на основі UWB технології, зокрема метод різниці прибуття (TDoA - Time Difference of Arrival) та метод двостороннього діапазону (TWR - Two Way Ranging).

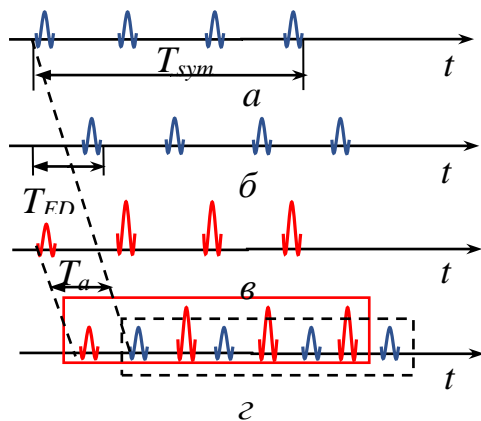


Рис. 2. До принципу дії ED/LC атаки

Джерело: розроблено авторами.

змогу вирішити проблему синхронізації в системах позиціонування в режимі виміру реального часу на основі методу TDoA. Однак, таке рішення призводить до збільшення витрат на 20-40 %.

До переваг систем позиціонування на основі методу TDoA відносять достатньо великий термін використання батареї тегів, можливість зміни кількості як анкорів, так і тегів залежно від частоти надсилання тегами блінк повідомлень.

Метод двостороннього діапазону TWR регламентується стандартами ISO/IEC 24730-5 та IEEE 802.15.4-2011 і дає змогу визначити час поширення сигналу UWB, а потім розрахувати відстань між вузлами шляхом множення часу на швидкість світла. Така процедура з урахуванням особливостей TWR реалізується для одного тега і всіх використовуваних в системі анкорів поступово у відповідний проміжок часу.

Метод різниці прибуття TDoA ґрунтується на тому, що тег особи розсилає так звані блінк повідомлення. Інші теги сприймають це повідомлення, але не реагують на нього. Блінк повідомлення досягає кожного з анкорів за різні проміжки часу, а отже в різні моменти часу, оскільки вони розміщені на різній відстані від тега особи. Різниця в часі між надходженням блінк повідомлень до анкорів і є основою для розрахунку просторових координат тега, а отже, і особи.

Однією з істотних негативних особливостей класичної реалізації методу TDoA є необхідність синхронізації функціонування анкорів, оскільки встановлено, що неточність синхронізації у 3 нс спричинює похибку близько 1 метра. Застосування додаткового спеціального обладнання дає

Для визначення відстані від тега до анкера необхідно обмінятися трьома повідомленнями: повідомленням-запитом, повідомленням-відповіддю та результуючим (фінальним) повідомленням (див. рис. 3). Тег ініціалізує TWR, надсилаючи повідомлення-опитування на відому адресу анкера у визначений час  $T_{НЗ}$  (час надсилання опитування). Анкер фіксує момент прийому повідомлення-опитування  $T_{ПЗ}$  і відповідає на повідомлення в момент часу  $T_{ПВ}$ . Тег при отриманні повідомлення-відповіді фіксує момент часу його надходження  $T_{ВВ}$ , формує фінальне повідомлення та надсилає його анкеру в момент часу  $T_{ФВ}$ . Фінальне повідомлення містить його ідентифікатор, а також значення моментів часу  $T_{НЗ}$ ,  $T_{ВВ}$  та  $T_{ФВ}$ .

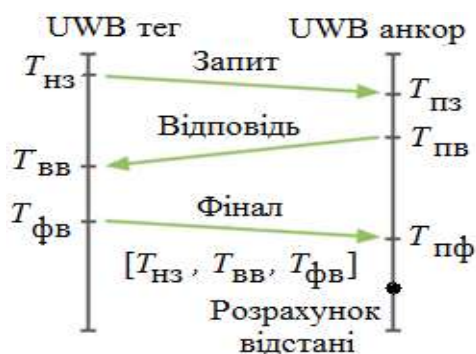


Рис. 3. До визначення відстані між тегом та анкером за TWR методом

Джерело: розроблено авторами.

З урахуванням моменту часу прийому фінального повідомлення  $T_{ПФ}$  та даних, що в ньому містяться, анкер обраховує час поширення сигналу UWB та відстань між тегом та анкером. За бажанням, отримане значення відстані можна надіслати в зворотному напрямку до тега в повідомленні-звіті або до сусіднього анкера. Установлено, що оптимальна відстань між тегом і анкером для методу TWR становить 20...30 м.

Отже, для обчислення відстані до одного тега, потрібно запустити процес TWR з усіма анкерами в системі. Очевидно, що чим більше анкерів, тим більше часу потрібно для завершення всіх процедур TWR для одного тега.

Системи позиціонування, у яких реалізовано метод TWR, не потребують синхронізації пристроїв UWB. І це є їх істотною перевагою. Однак для таких систем число робочих тегів і термін служби джерел їх живлення здебільшого залежить від необхідної частоти оновлення та кількості анкерів. Крім того, теги повинні знати адреси анкерів.

Зіставивши методи TDoA та TWR, для реалізації в системі обираємо останній через простоту реалізації і більшу точність з меншими ресурсними витратами.

#### Алгоритм роботи системи.

При старті системи теги знаходяться у блінк режимі, генеруючи через кожні 2-3 секунди повідомлення на анкори. Це дає змогу зменшити споживання електроенергії і не виконувати постійно TWR.

Камера, у свою чергу, на основі зображення визначає кількість людей у приміщенні та звіряє ці дані з даними за кількістю тегів, отриманих UWB анкерами. Якщо зазначені дані не співпадають протягом чотирьох ітерацій, система переходить у активний режим. У цьому режимі: 1) запускається TWR процес визначення відстані між анкерами та тегамі; 2) на основі зображення камерами вимірюється відстань до людей у приміщенні; 3) будується так звана оптична карта з координатами всіх людей, присутніх у приміщенні, а також UWB карта розміщення у цьому ж приміщенні осіб із UWB тегамі; 4) координати точок UWB карти, як еталону, порівнюються з координатами точок (людей) оптичної карти для виявлення наявності зловмисників.

Координати точок  $(L_x, L_y)$  на оптичній та UWB картах обчислюються за такими співвідношеннями:

$$L_x = [2\sqrt{p_1(p_1 - B)(p_1 - D2)(p_1 - D1) / B}]; p_1 = (A + D2 + D1) / 2;$$

$$L_y = [2\sqrt{p_2(p_2 - A)(p_2 - D3)(p_2 - D1) / A}]; p_2 = (A + D3 + D1) / 2,$$

де  $D1, D2, D3$  – відстані між відповідними об'єктами;  $A, B$  – відстані між двома камерами чи анкерами;  $p1, p2$  – потрібні для розрахунку координат параметри (див. рис. 4).

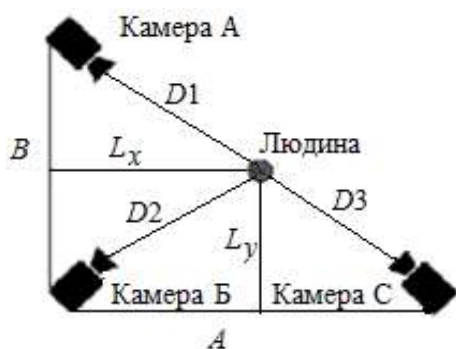


Рис. 4. До розрахунку координат  
Джерело: розроблено авторами.

На етапі порівняння почергово для кожної UWB точки визначається кількість точок оптичної карти, які знаходяться в радіусі 0.5 метрів від UWB точки. Наявність однієї точки засвідчує про відповідність її координат одному зі співробітників, що знаходиться в приміщенні, а отже, його ідентифікацію на зображенні. Якщо в зазначену зону UWB точки потрапляє більше однієї точки оптичної карти, то це буде свідчити про присутність у приміщенні зловмисника. У подальшому система забезпечує його ідентифікацію та створює відповідні матеріали для відділу безпеки.

**Висновки.** В умовах жорсткої конкуренції необхідність протидіяти витоків інформації висуває додаткові вимоги до систем забезпечення контрольованого доступу до обладнання та приміщень об'єктів різноманітного призначення. На сьогодні при побудові таких систем дедалі частіше застосовуються бездротові технології та методи комп'ютерного зору. Розроблена та описана в роботі система виявлення проникнень ґрунтується на бездротовій UWB технології, дає змогу без розпізнавання облич ефективно та надійно ідентифікувати працівників установ та організацій і виявляти сторонніх осіб у режимі реального часу. При виборі для реалізації в системі бездротової технології автори виходили з того, що UWB технологія характеризується незначними витратами енергії, використовує як несучі надширококутні сигнали з невеликими значеннями спектральної щільності потужності, забезпечує достатньо високу точність визначення відстані до об'єкта та його координат.

#### Список використаних джерел

1. Identification and recognition. Required resolution [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.axis.com/learning/web-articles/identification-and-recognition/resolution>.
2. Chanthaphone S. Design and implementation of security system for smart home based on IoT technology [Electronic resource] / S. Chanthaphone, Y. Lasheng. – Accessed mode: [https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2022-01-02/1641123351\\_E15914.pdf](https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2022-01-02/1641123351_E15914.pdf).
3. Suranthaa N. Design of Smart Home Security System using Object Recognition and PIR Sensor [Electronic resource] / N. Suranthaa, W. R. Wicaksonob. – Accessed mode: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.198>.
4. Lens calculator/Axis Communications [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.axis.com/tools/lens-calculator>.
5. Felzenszwalb P. A discriminatively trained, multiscale, deformable part model [Electronic resource] / P. Felzenszwalb, D. McAllester, D. Ramanan. – Accessed mode: <https://cs.brown.edu/people/pfelzens/papers/latent.pdf>.
6. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation [Electronic resource] / R. Girshick, J. Donahue, T. Darrell, J. Malik. – Accessed mode: [https://openaccess.thecvf.com/content\\_cvpr\\_2014/papers/Vemulapalli\\_Human\\_Action\\_Recognition\\_2014\\_CVPR\\_paper.pdf](https://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2014/papers/Vemulapalli_Human_Action_Recognition_2014_CVPR_paper.pdf).
7. Girshick R. Fast R-CNN [Electronic resource] / R. Girshick. – Accessed mode: [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_iccv\\_2015/papers/Girshick\\_Fast\\_R-CNN\\_ICCV\\_2015\\_paper.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_iccv_2015/papers/Girshick_Fast_R-CNN_ICCV_2015_paper.pdf).
8. Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks [Electronic resource] / S. Ren, K. He, R. Girshick, J. Sun. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1506.01497.pdf>.
9. You only look once: Unified, real-time object detection [Electronic resource] / J. Redmon, S. Divvala, R. Girshick, A. Farhadi. – Accessed mode: [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_cvpr\\_2016/papers/Redmon\\_You\\_Only\\_Look\\_CVPR\\_2016\\_paper.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf).
10. SSD: Single Shot MultiBox Detector [Electronic resource] / W. Liu, D. Anguelov, D. Erhan, C. Szegedy, S. Reed, C.-Y. Fu, A. C. Berg. – Accessed mode: <https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf>.
11. Tan, M. EfficientNet: rethinking model scaling for convolutional neural networks [Electronic resource] / M. Tan, Q. V.Le. – Режим доступу: <https://arxiv.org/pdf/1905.11946.pdf>.

12. Murawski K. Method of Measuring the Distance to an Object Based on One Shot Obtained from a Motionless Camera with a Fixed-Focus Lens [Electronic resource] / K. Murawski. – Accessed mode: <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/127/a127z6p04.pdf>.

13. Lin Y. An Improved Sum of Squared Difference Algorithm for Automated Distance Measurement [Electronic resource] / Y. Lin, Y. Gao, Y. Wang. – Accessed mode: <https://www.readcube.com/articles/10.3389/fphy.2021.737336>.

14. An Indoor Ultrasonic Positioning System Based on TOA for Internet of Things [Electronic resource]. – Accessed mode: [https://www.researchgate.net/publication/311165132\\_An\\_Indoor\\_Ultrasonic\\_Positioning\\_System\\_Based\\_on\\_TOA\\_for\\_Internet\\_of\\_Things/link/618508afa767a03c14f7c15c/download](https://www.researchgate.net/publication/311165132_An_Indoor_Ultrasonic_Positioning_System_Based_on_TOA_for_Internet_of_Things/link/618508afa767a03c14f7c15c/download).

15. Singh M. UWB with Pulse Reordering: Securing Ranging against Relay and Physical-Layer Attacks [Electronic resource] / M. Singh, P. Leu, S. Capkun. – Accessed mode: <https://eprint.iacr.org/2017/1240.pdf>.

### References

1. Identification and recognition. Required resolution. <https://www.axis.com/learning/web-articles/identification-and-recognition/resolution>.

2. Chanthaphone Sisavatha, Lasheng Yub. Design and implementation of security system for smart home based on IoT technology. [https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2022-01-02/1641123351\\_E15914.pdf](https://e-tarjome.com/storage/panel/fileuploads/2022-01-02/1641123351_E15914.pdf).

3. Nico, Suranthal, Wingky, R. Wicaksonob (2018). Design of Smart Home Security System using Object Recognition and PIR Sensor. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.08.198>.

4. Lens calculator/Axis Communications. <https://www.axis.com/tools/lens-calculator>.

5. Felzenszwalb, P., McAllester, D., & Ramanan, D. (2008). A discriminatively trained, multiscale, deformable part model. <http://people.cs.uchicago.edu/~pff/papers/latent.pdf>.

6. Girshick, R., Donahue, J., Darrell, T., & Malik, J. (2014). Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation. [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_cvpr\\_2014/papers/Girshick\\_Rich\\_Feature\\_Hierarchies\\_2014\\_CVPR\\_paper.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2014/papers/Girshick_Rich_Feature_Hierarchies_2014_CVPR_paper.pdf).

7. Girshick, R. Fast R-CNN. [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_iccv\\_2015/papers/Girshick\\_Fast\\_R-CNN\\_ICCV\\_2015\\_paper.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_iccv_2015/papers/Girshick_Fast_R-CNN_ICCV_2015_paper.pdf).

8. Ren, S., He, K., Girshick, R., & Sun, J. (2016, January). Faster R-CNN: Towards real-time object detection with region proposal networks. <https://arxiv.org/pdf/1506.01497.pdf>.

9. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You only look once: Unified, real-time object detection. [https://www.cv-foundation.org/openaccess/content\\_cvpr\\_2016/papers/Redmon\\_You\\_Only\\_Look\\_CVPR\\_2016\\_paper.pdf](https://www.cv-foundation.org/openaccess/content_cvpr_2016/papers/Redmon_You_Only_Look_CVPR_2016_paper.pdf).

10. Liu, W. et al. (2016, December). SSD: Single Shot MultiBox Detector. <https://arxiv.org/pdf/1512.02325.pdf>.

11. Tan, M., Le, Q.V. (2020, September). EfficientNet: rethinking model scaling for convolutional neural networks. <https://arxiv.org/pdf/1905.11946.pdf>.

12. Murawski, K. (2015, Cherven). Method of Measuring the Distance to an Object Based on One Shot Obtained from a Motionless Camera with a Fixed-Focus Lens. <http://przyrbwn.icm.edu.pl/APP/PDF/127/a127z6p04.pdf>.

13. Lin Y., Gao Y., & Wang, Y. (2021, August). An Improved Sum of Squared Difference Algorithm for Automated Distance Measurement. <https://www.readcube.com/articles/10.3389/fphy.2021.737336>.

14. An Indoor Ultrasonic Positioning System Based on TOA for Internet of Things. [https://www.researchgate.net/publication/311165132\\_An\\_Indoor\\_Ultrasonic\\_Positioning\\_System\\_Based\\_on\\_TOA\\_for\\_Internet\\_of\\_Things/link/618508afa767a03c14f7c15c/download](https://www.researchgate.net/publication/311165132_An_Indoor_Ultrasonic_Positioning_System_Based_on_TOA_for_Internet_of_Things/link/618508afa767a03c14f7c15c/download).

15. Mridula Singh, Patrick Leu, Srdjan Capkun. (2017). UWB with Pulse Reordering: Securing Ranging against Relay and Physical-Layer Attacks. <https://eprint.iacr.org/2017/1240.pdf>.

Отримано 06.02.2023



**Mykola Humen<sup>1</sup>, Dmytro Kushchevskiy<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Deputy Dean Faculty of Air Navigation,  
Electronics and Telecommunications Faculty  
National Aviation University (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [mbgumen@ukr.net](mailto:mbgumen@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7935-6496>

<sup>2</sup>Master

National Aviation University (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [dima.kushhevskij@gmail.com](mailto:dima.kushhevskij@gmail.com)

**PENETRATION DETECTION SYSTEM BASED ON UWB TECHNOLOGY**

*Effective controlled access to the premises of institutions and organizations of various purposes is an urgent need today. An equally important task is the detection of intruders who entered the premises. In the conditions of fierce competition, the solution of these tasks is a certain guarantee of reducing cases of unauthorized access to information and technical resources of institutions and organizations.*

*The analysis of research and publications showed that little attention has been paid to issues of reasonable selection and design of employees identification systems and detection of intruders using wireless technologies and computer vision algorithms.*

*The purpose of the article is to develop a system for automatic identification of persons in a premises without faces recognition based on UWB wireless technology and computer vision algorithms.*

*Based on a comprehensive analysis of approaches to the design of personnel access control systems, advantages and disadvantages of methods and algorithms for selecting objects on the image, technologies for detecting people in premises, algorithms for calculating spatial coordinates of objects and measuring the distance between them, features of positioning systems and wireless standards communication RFID, BLE, WiFi, UWB, GPS, a system for detecting penetrations into premises of institutions and organizations based on UWB technology is proposed in the article.*

*The developed system makes it possible in real time to register the movement of persons, to respond to cases of illegal penetrations, reliably to identify authorized employees, to detect unauthorized persons without faces recognition and complex machine learning algorithms, and generate appropriate materials for the security department. The basic components of the system are stereo cameras with built-in chips that support the UWB standard, UWB employee tags, a control server, a communication module with the server and the corresponding software.*

**Keywords:** access control system; penetration detection; attacker; anchor; tag; ultra-wideband technology; computer vision; convolutional neural network; wireless technology.

*Table: 4. Fig.: 4. References: 15.*

**Валентина Макоєдова**

аспірант кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки

Державний торговельно-економічний університет (Київ, Україна)

E-mail: [makoiedova.valentyna@gmail.com](mailto:makoiedova.valentyna@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7518-894X>ResearcherID: [AFI-6440-2022](https://orcid.org/0000-0001-7518-894X)**ІНФОРМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ВСТУПНОЇ КАМПАНІЇ  
В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ**

У статті висвітлено сутність інформатизації процесів вступної кампанії в закладах вищої освіти. Побудовано модель (AS-IS) існуючих інформаційних зв'язків вступної кампанії на прикладі Державного торговельно-економічного університету. Визначено переваги від потенційної оптимізації інформаційних зв'язків, зображеної в моделі TO-BE. Продемонстровано можливу програмну реалізацію на прикладі програмного коду експорту до ЄДЕБО заяви, внесеної в інформаційну систему приймальної комісії закладу вищої освіти.

**Ключові слова:** інформатизація; інформаційні технології; заклад вищої освіти; вступна кампанія; інформаційні зв'язки; модель AS-IS; модель TO-BE.

Рис.: 4. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** Інформатизація процесів вступної кампанії для будь-якого закладу вищої освіти є необхідністю. Зменшення частки заяв, що подаються в паперовій формі, перехід до дистанційного укладення документів триває. І з кожним роком цей процес стає дедалі більш автоматизованим. Автоматизація процесів вступної кампанії має бути здійснена таким чином, щоб не лише оптимізувати процеси документообігу, а й щоб скоротити витрати ресурсів закладу вищої освіти, необхідні для управління процесом вступу на навчання.

Наявність Єдиної державної електронної бази з питань освіти (ЄДЕБО) значно спростила здійснення автоматизації процесів вступної кампанії. Сервіси ЄДЕБО постійно модифікуються, але залишається низка проблем, які все ще потребують вирішення. Зокрема, багато чинних сервісів потребують вдосконалення контролю приймальними комісіями достовірності внесених самими вступниками даних, що забезпечує проведення чесного і прозорого конкурсу [1].

**Постановка проблеми.** Впровадження ЄДЕБО полегшило інформатизацію процесів вступної кампанії. Але при цьому постав інший виклик, як ефективно організувати взаємодію зовнішньої електронної бази з внутрішніми системами закладів освіти, щоб оптимізувати документообіг і забезпечити точну та ефективну обробку заявок. Оскільки ЄДЕБО постійно модифікується, з'являються нові можливості до оптимізації існуючих систем та інформаційних зв'язків у закладі вищої освіти.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням інформатизації в закладах вищої освіти присвячено достатню кількість наукових праць. У роботі [2] А. В. Морозов та Т. А. Вакалюк розглянули доцільність розробки та використання електронного середовища закладу вищої освіти. У статті авторами запропоновано модель електронного середовища ЗВО, що складається з 4 компонентів: навчального, наукового, організаційного та управлінського. Типові інформаційні потоки для забезпечення навчального процесу, що притаманні більшості ЗВО розглянули В. М. Можаровський та ін. [3].

У роботі [4] автори зацентували увагу на актуальних потребах вступників до ЗВО. За результатами проведених досліджень запропонували впровадити інформаційну систему для рекомендації освітніх програм для вступу й оцінки успішності вступу. Досліджували прогнозування та передбачення вступної кампанії ЗВО, методи підвищення ефективності ресурсів вступної кампанії І. О. Кандиба та інші в роботі [5]. Автори запропонували інформаційну технологію (ІТ) передбачення результатів вступної кампанії університету на основі когнітивної карти з використанням експертних оцінок.

Проблемні питання роботи приймальної комісії в Єдиній державній електронній базі з питань освіти, які потребують вирішення, виявили В. В. Семенець та інші, визначили функції, що потребують якнайшвидшої автоматизації [1]. Структурна технічна схема взаємозв'язків між ЄДЕБО, сервером інформаційно-аналітичної системи та автоматизованими робочими місцями членів приймальної комісії представлена в роботі А. М. Мороз та ін. [6].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що проблема аналізу та оптимізації інформаційних зв'язків вступної кампанії в закладах вищої освіти залишається невирішеною та потребує подальших досліджень.

**Метою статті** є аналіз стану інформатизації вступної кампанії в закладах вищої освіти та оптимізація існуючих інформаційних зв'язків.

**Виклад основного матеріалу.** Вступна кампанія є стратегічно важливим напрямом діяльності для будь-якого закладу вищої освіти. Її результати мають безпосередній вплив як на сам освітній заклад, так і на вступників. В умовах стрімкого розвитку ІТ є критично необхідним постійний пошук та вдосконалення тих методів та засобів, які б сприяли вирішенню актуальних завдань, що стоять перед ЗВО, та, відповідно, підвищенню ефективності вступної кампанії. Складність вступної кампанії як процесу та значний вплив її результатів на діяльність ЗВО, викликає потребу у впровадженні й постійному вдосконаленні інформаційних технологій в організаційних процесах і процесах інформаційного супроводу цього виду діяльності ЗВО [4].

Під інформатизацією процесів вступної кампанії в ЗВО будемо розуміти розроблення, удосконалення та використання інформаційних технологій, мереж, інформаційних систем з метою підвищення ефективності проведення вступної кампанії в закладах вищої освіти. Інформатизація дозволяє ЗВО збирати та аналізувати дані про прийом вступників, що може бути використано для виявлення тенденцій, покращення профорієнтаційної роботи та прийняття кращих рішень щодо політики та процедур вступу. Крім того, заклади можуть використовувати ці дані, щоб краще зрозуміти потреби своїх студентів і розробити програми та послуги для задоволення цих потреб.

Наявність електронного середовища ЗВО дозволяє ефективно використовувати наявні ресурси вищої освіти [2]. Розглянемо варіант структурної організації інформаційних систем, при якому супроводження кожного інформаційного потоку або групи потоків закладу вищої освіти покладається на окрему інформаційну систему з передачею необхідних даних до інших систем. Це дозволяє використовувати як наявні інформаційні системи, так і оновлювати та доповнювати окремі компоненти при зміні або додаванні нових потоків. Основні проблеми такого типу організації: необхідність узгодження даних та їхньої структури між системами, актуальність та несуперечливість даних у різних системах, редагування даних при внесенні змін або виправленні помилок, час на збір актуальної інформації. Цей варіант дає змогу вносити локальні зміни до інформаційних систем більш оперативно, але на практиці може виявитися громіздким, потребувати складного узгодження можливостей систем, що співпрацюють з даними обраного потоку при внесенні змін. Організація системи таким чином надає можливість автоматизації та заміни паперової обробки інформації, що, за умов нестабільного фінансування, дозволяє поступово нарощувати ступінь автоматизації [3].

Заклади вищої освіти зацікавлені в постійному моніторингу вступної кампанії за допомогою засобів інформаційних технологій, які дозволяють оперативно обробляти отриману інформацію та представляти її в зручному вигляді [7].

Потреба в наявності власної інформаційної системи для проведення вступної кампанії спричинена також тим, що частина функціонала необхідного для дотримання правил прийому на цей момент не підтримується у ЄДЕБО. Зокрема, можливість вступу до





Рис. 2. Методика розробки моделі To-Be

Джерело: сформовано авторкою.

PHP-застосунок з використанням вебсервера Apache застосовується як для імпорту даних з ЄДЕБО до інформаційної системи приймальної комісії, так і передачі даних до ЄДЕБО. Для здійснення запитів використовуються методи, описані в «Документації на програмний інтерфейс сервера застосувань «Єдиної державної електронної бази з питань освіти», яку створено на базі ASP.NET Web API 2.0». Як формат обміну даними використовується JSON. Застосування REST API спрощує механізми обміну інформацією між інформаційною системою приймальної комісії і ЄДЕБО. Для забезпечення достатнього рівня захисту даних при використанні REST API можуть застосовуватися сертифікати SSL/TLS.

Для інтеграції необхідно ЗВО придбати у ДП «Інфоресурс» та налагодити з'єднання власної мережі з ЄДЕБО через шлюз REST, отримати унікальний електронний ключ програмного засобу, верифікувати в ЄДЕБО користувачів ІС з типом підключення «користувач (підключення через REST)» з відповідними логінами та паролями. Користувачам з таким типом з'єднання заборонено доступ до вебінтерфейсу ЄДЕБО.

Модель TO-BE теж має Microsoft SQL Server, до якого підключаються користувачі. Обмін інформацією відбувається виключно через сервер. Щоб забезпечити від втрати дані, що зберігаються в Microsoft SQL Server здійснюється регулярне резервне копіювання даних. Користувачі за відсутності зв'язку з Єдиною базою або коли її функціонування обмежене можуть переглядати та редагувати дані. Адміністратор здійснює моніторинг функціонування системи, що передбачає перевірку log-файлів та інших trace files, сформованих системою під час виникнення помилок, для відстеження стану функціонування системи та запобігання виникнення критичних помилок. У разі виникнення збоїв у роботі системи, спричинених використанням власного програмного засобу, адміністратор відповідає за швидке усунення несправностей.

Перехід до моделі інформаційних зв'язків вступної кампанії TO-BE (рис. 3) дає змогу врахувати склад і структуру внутрішніх інформаційних потоків притаманних даному ЗВО. Такий шлях взаємодії користувачів з ЄДЕБО прискорює та спрощує роботу працівників приймальної комісії.

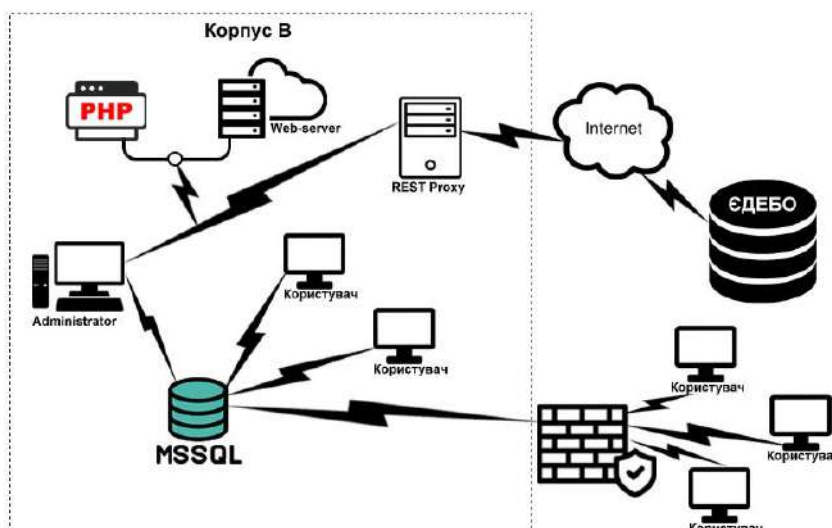


Рис. 3. TO-VE модель інформаційних зв'язків вступної кампанії в ДТЕУ  
Джерело: сформовано авторкою.

Ще однією перевагою є можливість сповіщати вступників про статус їхньої заяви, інформувати про важливі моменти вступу електронною поштою чи SMS. Спростити рекомендацію до зарахування за кошти державного бюджету за фіксованими конкурсними пропозиціями або осіб, які мають право на квоту-2.

Приклад програмного коду для реєстрації в ЄДЕБО заяви, створеної в ІС наведено на рис. 4.

```
Welcome Page MainUnit
procedure TMainForm.actRequestSendExecute(Sender: TObject);
var
  q: TADOStoredProc;
  aParam: TRESTRequestParameter;
begin
  with TADOStoredProc.Create(nil) do
    q:=TADOStoredProc.Create(nil);
  try
    q.Connection:=DM.base;
    q.ProcedureName:='sp_EDBO_PersonRequestAdd';
    q.Parameters.Refresh;
    q.Parameters[1].Value:=StrToInt(MainFrame1.ListEntrant.Selected.SubItems[5]);
    q.Parameters[2].Value:=StrToInt(MainFrame1.ListEntrant.Selected.SubItems[10]);
    q.Parameters[3].Value:=StrToInt(MainFrame1.ListEntrant.Selected.SubItems[6]);
    q.Open;
    RESTForm.RESTClient11.ContentType:='application/json';
    RESTForm.RESTRequest11.ClearBody;
    aParam := RESTForm.RESTRequest11.Params.AddItem();
    aParam.Value := q.FieldValues['PersonRequestAdd'];
    aParam.ContentType:=ctAPPLICATION_JSON;
    aParam.Kind:=pkREQUESTBODY;
    RESTForm.RESTRequest11.Execute;

    with TADOStoredProc.Create(nil) do
      try
        Connection:=DM.base;
        ProcedureName:='sp_EDBO_SetRequestID';
        Parameters.Refresh;
        Parameters[1].Value:=StrToInt(MainFrame1.ListEntrant.Selected.SubItems[5]);
        Parameters[2].Value:= StrToInt(MainFrame1.ListEntrant.Selected.SubItems[10]);
        Parameters[3].Value:= StrToInt(MainFrame1.ListEntrant.Selected.SubItems[6]);
        Parameters[4].Value:= StrToInt(RESTForm.ClientDataSet11.Fields[0].AsString);
        ExecProc;
        MessageDlg('Ідентифікатори заяви встановлено', mtInformation, [mbOk], 0);
      finally
        Free;
      end;
    finally
      q.Free;
    end;
  end;
end;
```

Рис. 4. Частина програмного коду для створення (реєстрації)  
в ЄДЕБО заяви вступника поданої в паперовому вигляді  
Джерело: побудовано авторкою (знімок з екрана).

Крім того, нова модель інформаційних зв'язків може знизити витрати. Вартість підключення інформаційної системи ЗВО через програмний інтерфейс доступу до ЄДЕБО (REST API) складає 2260,80 грн. При цьому кількість користувачів обмежується можливостями власної системи (програмного засобу). За додаткові місця для доступу до ЄДЕБО сплачувати не потрібно. Вартість підключення одного користувача з типом «Користувач (підключення через криптоканал)» складає 180 грн. [8]. Для 70 членів приймальної комісії робота через web-інтерфейс ЄДЕБО та використання власної системи потребує 14 860,8 грн. Підключення тільки власного програмного засобу дає змогу зекономити 12 600 грн для інших потреб.

Загалом зміна організації інформаційних зв'язків за моделлю ТО-ВЕ дасть змогу спростити процес роботи із заявами вступників. З'явиться можливість оперативного моніторингу вступної кампанії для прийняття рішень відповідальними особами.

**Висновки.** У роботі проаналізовано поточний стан інформатизації вступної кампанії. Побудовано модель AS-IS для формалізації існуючих інформаційних зв'язків вступної кампанії на прикладі ДТЕУ. Виявлено наявні недоліки та визначені можливі напрями оптимізації організації інформаційних потоків. Запропоновано модель ТО-ВЕ, у якій відображені шляхи підвищення ефективності проведення вступної кампанії в закладах вищої освіти.

У подальших дослідженнях планується висвітлити проблематику супроводу вступної кампанії більш детально. Зокрема, проаналізувати структуру інформаційної системи приймальної комісії, модель інформаційної технології супроводу вступної кампанії.

#### Список використаних джерел

1. Семенець В. В. Актуальні питання автоматизації функцій приймальної комісії / В. В. Семенець, А. Л. Єрохін, Т. О. Зубкова, А. В. Снурнікова, О. В. Коваленко, К. Р. Гальченко // Вступна кампанія до закладів освіти України: проблеми та перспективи : збірник матеріалів I Всеукраїнської науково-практичної конференції. – К. : НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2018. – С. 53-56.

2. Morozov A. V. An electronic environment of higher education institution (on the example of Zhytomyr Polytechnic State University) [Electronic resource] / A. V. Morozov, T. A. Vakaliuk // Journal of Physics: Conference Series. – 2021. – Vol. 1840, no. 1. – P. 012061. – Accessed mode: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012061>.

3. Інформаційні потоки закладів вищої освіти / В. М. Можаровський, П. Л. Литвиненко, Р. І. Сегол та ін. // Вступна кампанія до закладів вищої освіти України: проблеми та перспективи : збірник матеріалів II Всеукраїнської науково-практичної конференції. – К. : НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2019. – С. 26-29.

4. Зуб Х. В. Аналіз ефективності вступної кампанії закладів вищої освіти України та способів її підвищення шляхом впровадження інформаційних технологій [Електронний ресурс] / Х. В. Зуб, П. І. Жежнич // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2022. – Т. 162, № 3. – С. 52–59. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-52-59>.

5. Кандиба І. О. Генерація сценаріїв вступної кампанії закладу вищої освіти на основі когнітивної карти та предметно-орієнтованої мови програмування. [Електронний ресурс] / І. О. Кандиба, М. Т. Фісун, Г. В. Горбань, К. О. Антіпова // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. – 2022. – № 3. – С. 96–104. – Режим доступу: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/16>.

6. Мороз А. М. Інформаційно-аналітична система приймальної комісії ОНАХТ як основа автоматизованого управління формування контингенту студентів [Електронний ресурс] / А. М. Мороз, Н. О. Похлебін, В. А. Хобін // Automation of technological and business processes. – 2020. – Т. 12, № 4. – С. 36–42. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i4.1933>.

7. Карашецький В. П. Автоматизована система моніторингу вступної кампанії закладу вищої освіти [Електронний ресурс] / В. П. Карашецький, В. І. Яркун // Information technology and computer engineering. – 2021. – Т. 51, № 2. – С. 12–16. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2-12-16>.

8. Доступ до ЄДЕБО: вартість послуг та формування проєктів документів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.infosurs.gov.ua/edebo/documents>.

### References

1. Semenets V. V., Yerokhin A. L., Zubkova T. O., Snurnikova A. V., Kovalenko O. V & K. R. Halchenko (2018). Aktualni pytannia avtomatyzatsii funktsii pryimalnoi komisii [Actual issues of automating the functions of the admissions committee]. *Vstupna kampaniia do zakladiv osvity Ukrainy: problemy ta perspektyvy. Zbirnyk materialiv I Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Introductory campaign to higher education institutions of Ukraine: problems and prospects Collection of materials of the I All-Ukrainian scientific and practical conference* (pp. 53–56). NTUU «KPI imeni Ihoria Sikorskoho».
2. Morozov, A. V., & Vakaliuk, T. A. (2021). An electronic environment of higher education institution (on the example of Zhytomyr Polytechnic State University). *Journal of Physics: Conference Series*, 1840(1), 012061. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1840/1/012061>.
3. Mozharovskiy V. M., Lytvynenko P. L., Sehol R. I., Orliuk M. V., Kopersak V. M., Zalevska O. V., Finohenov O. D., Murakhovskiy S. A. & Moroz A. A. (2019). Informatsiini potoky zakladiv vyshchoi osvity [Information flows of higher education institution]. *Vstupna kampaniia do zakladiv vyshchoi osvity Ukrainy: problemy ta perspektyvy Zbirnyk materialiv II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Introductory campaign to higher education institutions of Ukraine: problems and prospects Collection of materials of the II All-Ukrainian scientific and practical conference* (pp. 26–29). NTUU «KPI imeni Ihoria Sikorskoho».
4. Zub, K. V., & Zhezhnych, P. I. (2022). Analiz efektyvnosti vstupnoi kampanii zakladiv vyshchoi osvity Ukrainy ta sposobiv yii pidvyshchennia shliakhom vprovadzhennia informatsiinykh tekhnolohii [Analysis of the efficiency of the ukrainian higher education institutions admission campaign and the ways to improve it through the information technology implementation]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu – Visnyk of Vinnytsia Politechnical Institute*, 162(3), 52–59. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-162-3-52-59>.
5. Kandyba, I. O., Fisun, M. T., Horban, H. V., & Antipova, K. O. (2021). Heneratsiia stsenariiv vstupnoi kampanii zakladu vyshchoi osvity na osnovi kohnityvnoi karty ta predmetno-oriientovanoi movy prohramuvannia [Generation of scenarios for the introductory campaign of a higher education institution based on a cognitive map and a domain-specific language]. *Vcheni zapysky Tavriiskoho natsionalnogo universytetu imeni V. I. – Scientific notes of taurida national V.I. vernadsky university. series: technical sciences*, (3), 96–104. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/16>.
6. Moroz, A. M., Pokhliebina, N. O., & Khobin, V. A. (2020). Informatsiino-analitychna systema pryimalnoi komisii ONAKhT yak osnova avtomatyzovanoho upravlinnia formuvannia kontynhentu studentiv [The information and analytical system of the ONUT admissions committee as the basis of the automated management of the formation of the student contingent]. *Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protsesiv – Automation of Technological and Business Processes*, 12(4), 36–42. <https://doi.org/10.15673/atbp.v12i4.1933>.
7. Karashetskyi V. P. & Yarkun, V. I. (2021). Avtomatyzovana systema monitorynhu vstupnoi kampanii zakladu vyshchoi osvity [An automated system for monitoring the admission campaign of a higher education institution]. *Informatsiini tekhnolohii ta kompiuterna inzheneriia – Information Technology and Computer Engineering*, 51(2), 12–16. <https://doi.org/10.31649/1999-9941-2021-51-2-12-16>.
8. Dostup do YeDEBO: vartist posluh ta formuvannia proektiv dokumentiv [Access to USEDE: cost of services and formation of project documents]. <https://www.infoeurs.gov.ua/edebo/documents>.

Отримано 07.03.2023

UDC 004.94:378.4

### Valentyna Makoiedova

PhD Student of the Department of Software Engineering and Cybersecurity  
State University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [makoiedova.valentyna@gmail.com](mailto:makoiedova.valentyna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7518-894X>  
ResearcherID: [AFI-6440-2022](https://orcid.org/0000-0001-7518-894X)

## INFORMATIZATION OF INTRODUCTORY CAMPAIGN PROCESSES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

*The complexity of the introductory campaign as a process and the significant consequences of its results cause the need for implementation and constant improvements of information technologies in the process of informational support.*

*Actual scientific researches and issues analysis about informatization of introductory campaign processes in higher education institutions showed that the problem of analysis and optimization of information flows of the introductory campaign in higher education institutions remains unsolved and requires further research.*



*The purpose of the article is to analyze the informatization of the admissions campaign in higher education institution and to optimize existing information flows.*

*The article highlights the essence of informatization of introductory campaign processes in higher education institutions. As part of the research, the structural organization of information systems is considered, in which the support of each information flow or group of flows of the higher education institution relies on a separate information system with the transfer of necessary data to other systems. The AS-IS model of the existing information flows of the introductory campaign is based on the example of the State University of Trade and Economics. The TO-BE model of the possible optimization of information flows was built and the advantages were determined. The method of developing the TO-BE model of informational flows of the introductory campaign is given. A part of the software code for sending an entrant's request from the information system of the admissions committee to the Infesurs Unified State Electronic Database on Education is demonstrated.*

*The presented materials can be used by higher education institutions to improve conditions for informatization of introductory campaign processes.*

**Keywords:** *Informatization; Information Technology; Higher Education Institution; Introductory Campaign; Information Flow; AS-IS model; TO-BE model.*

*Fig.: 4. References: 8.*

**Дмитро Руднєв<sup>1</sup>, Андрій Акименко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>аспірант, здобувач наукового ступеня доктор філософії за спеціальністю 122  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [dimarudniev893@gmail.com](mailto:dimarudniev893@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1666-0495>

<sup>2</sup>кандидат фізико-математичних наук, доцент  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [anakim2@gmail.com](mailto:anakim2@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4594-6559>

**ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ЗНАТЬ  
ФАХІВЦІВ В ІТ-ГАЛУЗІ**

Для визначення рівня компетентності ІТ фахівців використовуються карти компетенцій, які допомагають виявити сильні та слабкі сторони кандидата на посаду або студента, який освоїв курс. Тестування найбільш широко використовується методом контролю сформованості компетенцій або якості знань спеціаліста. Існує небагато форм тестування фахівців в ІТ галузі. Найбільш поширені - закриті тести, що передбачають вибір відповіді з кількох варіантів (альтернативний тест або тест на відповідність). Також використовують метод відкритих питань на співбесідах по софт та хард скілам.

У роботі запропоновано систему тестування для визначення оцінки якості знань ІТ спеціалістів. Система має такі переваги: визначення рівня софт та хард скілів, оскільки фахівці тісно використовують ці навички при роботі;

**Ключові слова:** навички; якість підготовки фахівця; професійно значущі та особистісні якості; компетентність.

Рис.: 5. Табл.: 3. Бібл. 7.

**Актуальність теми дослідження.** Аналіз джерел свідчить про відсутність єдиного тлумачення суті поняття «якість підготовки фахівця» та «якість знань фахівця», однак усі вони мають за основу «якість», як економічну категорію. Під якістю фахівця розуміють сукупність його властивостей, які дозволяють кваліфіковано та своєчасно виконувати професійну роботу згідно зі спеціальністю, займати активну громадянську позицію, постійно підвищувати свою кваліфікацію, а за потреби своєчасно змінювати професію.

**Постановка проблеми.** Сучасний ринок праці пропонує велику кількість напрямків ІТ спеціалістів: UX/UI дизайнери, Front-End, Back-end спеціалісти, фахівці в області мереж, спеціалісти з кібербезпеки – і це далеко не повний перелік. В Україні налічується 212 547 ФОПів, які працюють у сфері ІТ. За 2021 рік їхня кількість збільшилася на 29 111 осіб, або на 16 %. Темпи приросту дещо впали, якщо порівнювати з 2018–2020 рр., коли кількість ФОПів в українському ІТ збільшувалася на 20–22 % щороку. Ось перелік ІТ-КВЕДів, у яких видом діяльності був вказаний один пункт зі списку [1]:

- 62.01 Комп'ютерне програмування;
- 62.02 Консультування з питань інформатизації;
- 62.03 Діяльність із керування комп'ютерним устаткуванням;
- 62.09 Інша діяльність у сфері інформаційних технологій і комп'ютерних систем;
- 63.11 Оброблення даних, розміщення інформації на вебвузлах і пов'язана з ними діяльність;
- 58.21 Видання комп'ютерних ігор;
- 58.29 Видання іншого програмного забезпечення;

Тенденція зростання кількості ФОПів за 2016-2021 рр. показана на рис. 1.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У своєму дослідженні П.І. Канівець[2] розглядає якість фахівця як об'єктивну сукупність властивостей і характеристик (знання, уміння, навички, особистісні якості, здібності, комунікативні та інші якості), яка визначає його як фахівця певної професії та спеціальності й відрізняє його від інших спеціалістів. Якість підготовки фахівця, на думку дослідника, – це сукупність суттєвих властивостей та характеристик фахівця, рівень яких формується в процесі здійснення освітньої діяльності й повинен відповідати вимогам споживачів.

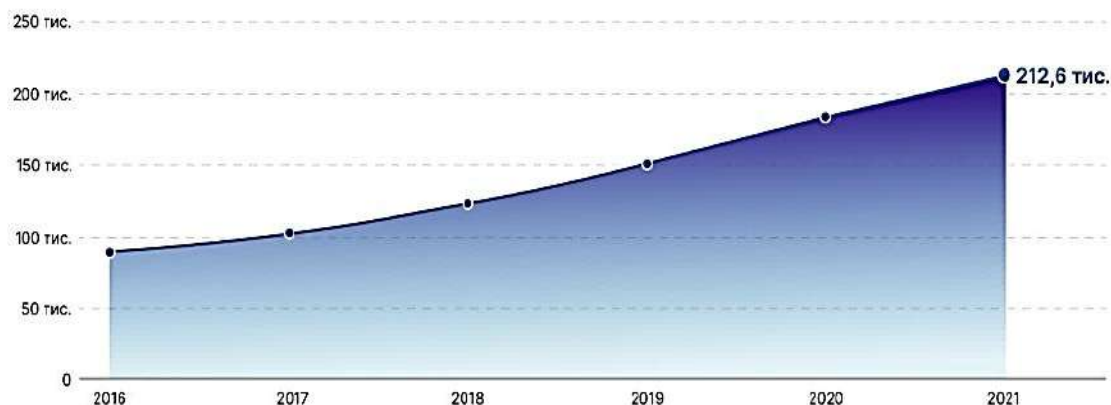


Рис. 1. Тенденція зростання кількості ФОПів за 2016-2021 роки

«Навички належать до рівня продуктивності фахівця у виконанні певного завдання або здатності добре виконувати роботу, яку можна розділити на технічну та комунікативну частину». Технічна частина вимірюється Hard (технічними навичками), тоді як комунікаційна частина вимірюється Soft навичками, які включають ставлення та підходи, наприклад, здатність співпрацювати над командними проектами [3].

У сфері ІТ існує безліч різних рівнів технічних спеціалістів, які мають відмінності в рівні знань, навичок та досвіду. Наприклад, початківці можуть мати базові знання з програмування та розробки, але не мати досвіду в роботі зі складними системами. Це відрізняє їх від досвідчених фахівців, які мають широкий спектр знань та досвіду в різних галузях, таких як бази даних, мережі та кібербезпека. Ще однією відмінністю між рівнями ІТ спеціалістів є їхні здібності до вирішення проблем. Початківці зазвичай мають знання теорії та можуть вирішувати простіші завдання. Проте досвідчені фахівці можуть знайти більш складні рішення із застосуванням широкого спектра інструментів та методів. Таким чином, відмінності в рівні ІТ спеціалістів визначають їх здатність вирішувати різноманітні проблеми та здібність до навчання та самовдосконалення. Основні рівні знань, на які поділяються спеціалісти в галузі ІТ, наведено в таблиці 1 [4].

Таблиця 1 – Основні рівні знань ІТ спеціалістів

Рівні	Опис	Атрибути
1	2	3
Базовий	Базове розуміння: компетенція обмежена коли мова йде про вирішення складних ситуацій	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Усвідомлює конкурентів у галузі та їхні пропозиції продуктів.</li> <li>• Ознайомлений з основними галузевими публікаціями та професійними стандартами.</li> <li>• Виявляє щирий інтерес дізнатися та дізнатися більше про відповідну галузь.</li> <li>• Обізнаний з поточними розробками галузі.</li> </ul>
Проміжний	Тверде базове розуміння: компетентність стосується звичайних ситуацій	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Знання основ взаємодії з іншими спеціалістами галузі.</li> <li>• Обмін корисною галузевою інформацією.</li> <li>• Здатність проводити аналіз галузі.</li> <li>• Розуміння основних потреб галузі для персонального росту.</li> </ul>
Середній	Тверде розуміння: знання та вміння застосовується з легкістю в більшості ситуацій	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Визначення галузевих викликів з погляду регулювання, конкуренції та глобалізації.</li> <li>• Здатність збирати, організувати, аналізувати, поширювати та інтерпретувати відповідні галузеві дані.</li> <li>• Бути в курсі галузевих тенденцій вивчаючи публікації і відвідуючи зустрічі професійних асоціацій у галузі.</li> <li>• Актуальне знання галузевих стандартів.</li> </ul>
Просунутий	Поглиблені галузеві знання: знання та вміння застосовуються до повного спектра ситуацій	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Досконале знання національних і міжнародних компаній (студій) у своїй галузі.</li> <li>• Знання зв'язку галузі з іншими сегментами.</li> <li>• Постійне оновлення знань та компетенцій у галузі.</li> <li>• Репутація в галузі досягається завдяки взаємодії з лідерами галузі.</li> </ul>

Закінчення таблиці 1

1	2	3
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Можливість зробити внесок у формування та змін у галузевих стандартів.</li> <li>• Широке розуміння зростання в галузевих сегментах, тенденцій і нових практик.</li> </ul>
Професіонал	Володіння галузевими знаннями: компетенції застосовуються до складних і непростих ситуацій із високим ступенем творчості	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Внесок у майбутні стратегічні рішення в галузі.</li> <li>• Здатність сформулювати складні галузеві питання та виклики.</li> <li>• Здатність формулювати стратегії для використання можливостей.</li> <li>• Актуальні та детальні галузеві знання та розробки та їх вплив на організаційні стратегічні плани.</li> <li>• Знання критичних проблем на всіх рівнях галузі, пропонуючи відповідні рішення.</li> </ul>

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Якщо дивитися на індустрію загалом, то загальними вміннями для ІТ-фахівців є знання мов програмування, розуміння шаблонів та патернів проектування, знання підходів до роботи з вимогами, вміння писати тестові сценарії та ін. Але є безліч вмінь які мають різний рівень цінності на тій чи іншій позиції. Нині не існує універсального способу розрахунку кожного окремого hard чи soft skills для автоматичного виявлення рівня навичок спеціаліста.

**Мета роботи** полягає в дослідженні загальних вмінь та навичок ІТ-спеціаліста та спроба виведення універсальної формули для обрахунку еталонної моделі компетенцій ІТ-фахівця.

**Виклад основного матеріалу.** У межах кожної спеціалізації виникають більш детальні вимоги до технічних знань. Так, наприклад, системному аналітику важливо мати такі Hard Skills: розробка функціональної архітектури, підготовка внутрішньої та зовнішньої документації по продукту, постановка завдань групі розробки ПЗ та відділу UX/UI дизайну та ін. Кожен роботодавець може розширювати цей список під свої потреби [5].

Крім Hard Skill, спеціаліст також повинен мати обов'язкові Soft Skills для спілкування з колегами, роботодавцями, вміти вирішувати суперечливі питання і т. ін.

Загальний рисунок умінь та навичок ІТ фахівця представлений на рис. 2.

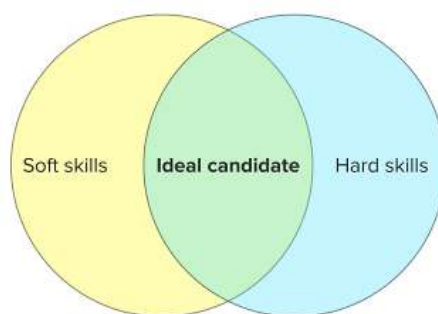


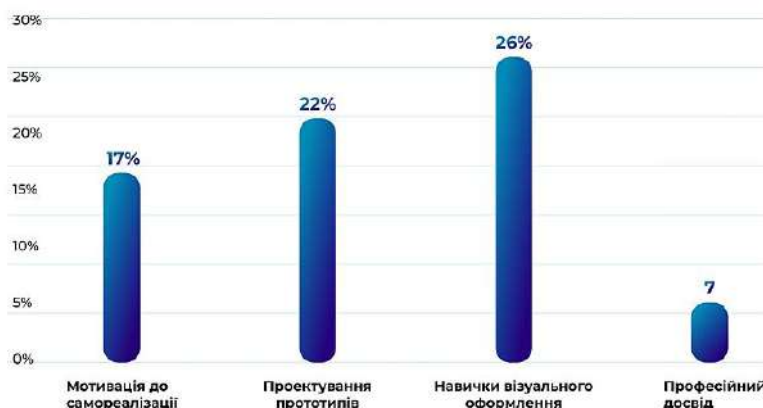
Рис. 2. Загальний рисунок умінь та навичок ІТ фахівця

Відповідно до вимог еталонної компетентнісної моделі ІТ-спеціаліста, було розроблено методикку визначення готовності випускників технічних напрямів ЗВО до професійної діяльності в галузі UX дизайну. Використання цієї методики дозволить визначити відповідність рівня підготовки випускників технічних напрямів ЗВО вимогам вакантної посади у відділі дизайну [6].

З метою визначення найважливіших якостей співробітників у сфері мережових інформаційних технологій, нами було опитано понад 14 керівників та провідних співробітників відділів UX/UI дизайну різних організацій (Національний університет «Чернігівська політехніка», компанія «SoftIndustry», компанія «SBitSoft», компанія «SendPulse», компанія «ENTech» та багато інших.

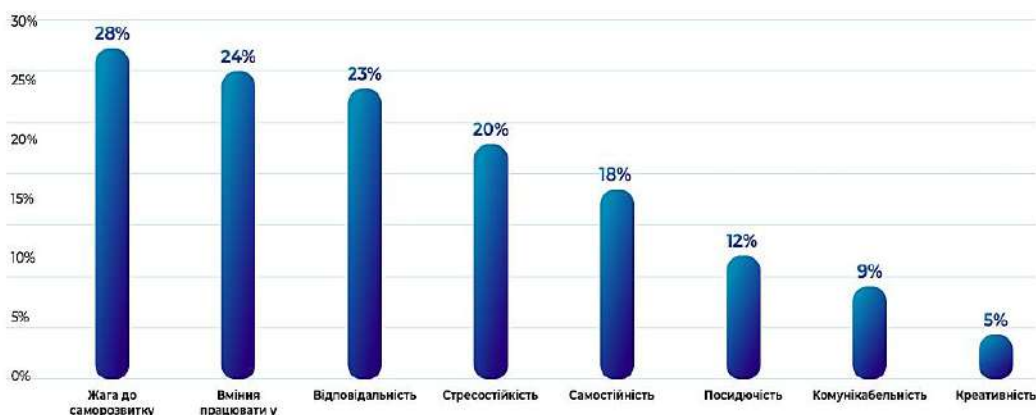
Результати моніторингу думки керівників щодо вибору найважливіших професійно значущих та особистісних якостей ІТ-фахівців представлені на рисунках 3 та 4.

Як видно з рис. 3, на думку більшості керівників, насамперед ІТ-фахівцям потрібна наявність таких професійно значущих якостей, як навички розробки прототипів та вміння візуально оформлювати продукт. Інші професійно значущі якості були обрані меншою мірою, отже, для ІТ-фахівців, на думку керівників, є менш важливими.



*Рис. 3. Результати моніторингу думки керівників на вибір найважливіших професійно значущих якостей ІТ-фахівців*

Як видно з рис. 4, на думку більшості керівників, найбільш важливими для ІТ-співробітників є такі особисті якості, як прагнення до самонавчання та розвитку, а також уміння працювати в команді. Інші особисті якості були обрані меншою мірою, отже, для ІТ фахівців, на думку керівників, вони є менш важливими.



*Рис. 4. Результати моніторингу думки керівників на вибір особистих якостей ІТ-фахівців*

Отримані результати дозволили нам виявити домінуючі якості, необхідні для побудови еталонної моделі компетенцій ІТ фахівця, що включають вимоги до рівня сформованості професійно значущих та особистісних якостей співробітника сфери UX дизайну (високий, вищий за середній, середній, нижчий за середній, низький), відповідно до побажань сучасних роботодавців у сфері ІТ-послуг (рис. 5).

Як критерій відповідності рівня підготовки випускників до вимог посад ІТ відділу, використовувався показник «компетентність у галузі UX дизайну», який формується в результаті оцінки професійно значущих та особистісних якостей як сума балів усіх показників, з урахуванням вагових коефіцієнтів:

$$K_p = \left( \frac{\sum_{i=1}^{15} L_i * K_{vi}}{\sum_{i=1}^{15} K_{vi}} \right) / 100,$$

де  $K_p$  – показник компетентності в області UX дизайну

$L_i$  – оцінка і-го критерію в процентах

$K_{vi}$  – ваговий коефіцієнт і-го критерію.

Отримане значення показника «компетентність у галузі UX дизайну» ( $K_p$ ) дозволить оцінити відповідність підготовки кандидатів (у тому числі і випускників, майбутніх IT-фахівців) вимогам керівників у сфері UX дизайну та надати допомогу при підборі найбільш відповідного співробітника IT-відділу.

Використані у формулі (1) вагові коефіцієнти визначають ступінь важливості даної якості для співробітника, для того щоб виконувати обов'язки, відповідно до посад IT відділу. Вагові коефіцієнти значущості якостей IT-фахівця представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Вагові коефіцієнти якості знань IT фахівця

Фахівець IT відділу	Soft Skills									Hard Skills				
	Прагнення до самонавчання	Вміння працювати в команді	Відповідальність	Стресостійкість	Самостійність	Усвідченість	Комунікабельність	Акуратність	Лідерство	Проектування прототипів	Знання у фаховій області	Навички візуального оформлення	Досвід	Мотивація до самореалізації
Ваговий коефіцієнт	0,9	0,9	0,7	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,3	0,9	0,5	0,9	0,7	0,7

Таким чином, згідно з розробленою методикою, після проходження всіх випробувань претендентами на посаду в IT відділ, співробітнику з добору персоналу будуть доступні результати сформованості кожного з професійно значущих та особистісних якостей кандидатів. На основі цих даних він матиме можливість визначити підсумковий рівень сформованості показника «компетентність у галузі UX дизайну» кожного кандидата, як характеристики його готовності до професійної діяльності в галузі UX дизайну.

Еталонна модель компетенцій IT- фахівця з UX дизайну представлена на рис. 5.

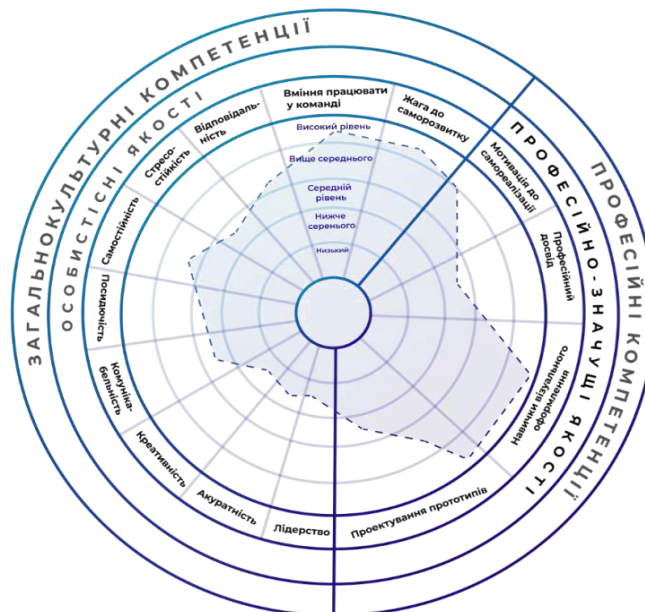


Рис. 5. Еталонна модель компетенцій IT-фахівця в галузі UX дизайну

У процесі проведеного дослідження була розроблена шкала для оцінки рівня сформованості компетентності в галузі UX дизайну IT-фахівця (бажаний, необхідний, достатній, недостатній, неприпустимий) (табл. 3) [7].

Таблиця 3 – Шкала оцінки показника «Компетентність у галузі UX дизайну» ( $K_p$ )

Рівень показника	Кількість балів	Оцінка та основні рекомендації
Високий	0,81-1,0	Кандидат повністю задовольняє всі вимоги посади. Проблемні показники відсутні.
Вище середнього	0,61-0,8	Кандидат задовольняє вимоги посади. Є декілька проблемних показників, які можуть бути відкориговані в процесі адаптації.
Середній	0,41-0,6	Кандидат частково задовольняє вимоги посади. Є проблемні показники, які можуть бути відкориговані в процесі адаптації.
Нижче середнього	0,21-0,4	Кандидат не задовольняє вимоги посади. Велика кількість проблемних показників, які будуть виправлені при проходженні додаткової професійної підготовки.
Низький	0-0,2	Кандидат не задовольняє мінімальним вимогам посади.

### Висновки.

1) На основі думки керівників IT-галузі, виявлено домінуючі професійно значущі та особистісні якості, необхідні фахівцям для успішної реалізації професійної діяльності в галузі UX дизайну;

2) на основі вимог еталонної компетентної моделі IT-фахівця створено методику, яка дозволяє оцінити відповідність рівня підготовки кандидатів на посаду вимогам керівників IT-відділу, а також надати допомогу в підтримці ухвалення рішення при виборі найбільш відповідного працівника.

### Список використаних джерел

1. Іпполітова І. Скільки IT-спеціалістів в Україні на 2021 рік [Електронний ресурс] / І. Іпполітова, І. Яновський. – Режим доступу: <https://dou.ua/lenta/articles/how-many-devs-in-ukraine-2020>.
2. Канивец П. Модели и методы оценки качества подготовки и повышения конкурентоспособности специалистов : дис... канд. екон. наук / П. Канивец. – Новочеркасск, 2004. – 230 с.
3. Frederick F. P. Exploring the importance of soft and hard skills as perceived by IT internship students and industry: A gap analysis / F. P. Frederick, C. L. S. Tablatin // *Journal of Technology and Science Education*. – 2017. – Vol. 7, № 3. – P. 350.
4. CFI Team. Industry knowledge [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/industry-knowledge/>.
5. Мелешко Е. Н. Методы и модели управления качеством подготовки специалистов с высшим образованием в регионе : дис... канд. экон. наук / Е. Н. Мелешко. – Ростов-на-Дону, 2000. – 249 с.
6. Матохнюк, Л. О. Психологія інформаційної компетентності особистості (генеза онтологічного розвитку) : дис. ... канд. псих. наук / Л. О. Матохнюк. – Одеса, 2019. – 527 с.
7. Руднев Д. Я. Автоматизована система тестування для визначення рівня компетентності UI/UX дизайнерів / Д. Я. Руднев, К. М. Фокин, О. Т. Трунова // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : Всеукр. наук.-практ. конф. студ., аспір. та молод. учених (м. Чернігів, 18-19 берез. 2021 р.) – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка» 2021. – С. 126-127.

### References

1. Ippolitova, I., Yanovskyi, I. (2020). *Skilky IT-spetsialistiv v Ukraini na 2021 rik [How many IT specialists in Ukraine for 2021]*. <https://dou.ua/lenta/articles/how-many-devs-in-ukraine-2020/>.
2. Kanivets, P. (2004). *Modeli ta metody otsinky yakosti pidhotovky ta pidvyshchennia konkurentospromozhnosti fakhivtsiv [Models and methods for assessing the quality of training and improving the competitiveness of specialists]* [PhD dissertation].
3. Frederick, F.P., Tablatin, C.L.S. (2017). Exploring the importance of soft and hard skills as perceived by IT internship students and industry: A gap analysis. *Journal of Technology and Science Education*, 7(3), 350.
4. CFI Team. (2017). Industry knowledge. *corporatefinanceinstitute.com*. <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/valuation/industry-knowledge/>.

5. Meleshko, E. (2000). *Metody ta modeli upravlinnia yakistiu pidhotovky fakhivtsiv z vyshchoiu osvitoiu u rehioni: dys. kand. ekonom. Nauk [Methods and models of quality management of training of specialists with higher education in the region: Diss. economy Sciences]* [PhD dissertation].

6. Matokhniuk, L.O. (2019). *Psykhohohiia informatsiinoi kompetentnosti osobystosti [Psychology of information competence of the individual (the genesis of ontological development)]* [PhD dissertation].

7. Rudnev, D.Ia., Fokyn, K.M., & Trunova, O.T. (2020). Avtomatyzyrovana systema testuvannia dlia vyznachennia rivnia kompetentnosti UI/UX dizaineriv [Automated testing system for determining the level of competence of UI/UX designers]. *Novitni tekhnolohiyi u naukoviy diyal'nosti i navchal'nomu protsesi : Vseukr. nauk.-prakt. konf. stud., aspir. ta molod. uchenykh – Latest technologies in scientific activity and educational process: Vseukr. science and practice conf. student, aspir. and young of scientists* (pp. 126-127). Chernihiv Polytechnic National University.

Отримано 27.02.2023

UDC 519.688:519.243

**Dmytro Rudniev<sup>1</sup>, Andriy Akymenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD student, recipient of the Doctor of Philosophy degree in specialty 122  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [dimarudniev893@gmail.com](mailto:dimarudniev893@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1666-0495>

<sup>2</sup>PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [anakim2@gmail.com](mailto:anakim2@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4594-6559>

## INFORMATION TECHNOLOGY ASSESSMENT OF THE QUALITY OF KNOWLEDGE OF SPECIALISTS IN THE IT INDUSTRY

*Urgency of the research. The topic of the research is the quality of the specialist's training and knowledge. The sources do not have a single definition of the terms "quality of specialist training" and "quality of specialist knowledge", but they all mean general "quality". The quality of a specialist means that they have properties that allow them to perform their professional work in accordance with their specialty, to be an active citizen, to constantly improve their qualifications and, if necessary, to change their profession.*

*Target setting. In the modern IT labor market, there are many areas, such as UX/UI designers, Front-End, Back-End specialists, network specialists and cyber security specialists. In Ukraine, there are more than 212 thousand IEs working in the field of IT. In 2021, the increase in the number of IEs increased by 16%. Currently, the growth in the number of IEs has decreased compared to 2018-2020. Ukraine has many CTEAs related to IT, including computer programming, informatization consulting, data processing, publishing of computer games and other software.*

*Actual scientific researches and issues analysis. In his research, P.I. Kanivets defined the quality of a specialist as a set of properties and characteristics that defines them as a specialist of a certain profession and specialty. The skills of a specialist can be divided into technical and communication skills, and they are determined by the level of productivity and the ability to do a job well. In the field of IT, there are many different levels of technical specialists with different levels of knowledge, skills and experience. Differences between levels determine the ability to solve various problems and the ability to learn and improve oneself.*

*Uninvestigated parts of general matters defining. There are general skills that IT professionals need, but there are also many other skills that have different levels of value depending on the position. At the moment, there is no universal way to automatically detect the level of specialists' skills, which concerns both "hard skills" (technical skills) and "soft skills" (interpersonal skills).*

*The research objective. The purpose of the work is to study the general skills and abilities of an IT specialist and an attempt to derive a universal formula for calculating the reference model of the competencies of an IT specialist.*

*The statement of basic materials. In particular, a methodology has been developed that allows to assess the compliance of the level of training of graduates with the requirements of vacant positions in the design department. A survey of managers and leading employees of UX/UI design departments from various organizations was also conducted in order to determine the most important qualities of employees in UI/UX design.*

*Conclusions. On the basis of the opinion of the heads of the IT industry, the dominant professionally significant and personal qualities necessary for specialists to successfully implement professional activities in the field of UX design were identified. Based on the requirements of the reference competency model of an IT specialist, a methodology that allows to assess the level of training of candidates for the position with the requirements of IT department managers, as well as to provide assistance in supporting decision-making when choosing the most suitable employee has been created.*

**Keywords:** skills; quality of specialist training; professionally significant and personal qualities; competence.

Fig.: 5. Table: 3. References: 7.



## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)-105-116

УДК 641.5:639.2:543.92

*Ірина Дітріх*

кандидат хімічних наук, доцент, доцент кафедри готельно-ресторанної справи

Національний університет харчових технологій (Київ, Україна)

E-mail: [irindtr@gmail.com](mailto:irindtr@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8109-2514>

ResearcherID: [D-4179-201](https://orcid.org/0000-0001-8109-2514). SCOPUS Author ID: [6505780537](https://orcid.org/0000-0001-8109-2514)

### ВИКОРИСТАННЯ ГАРБУЗА ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КОТЛЕТ РИБНИХ ДИТЯЧИХ

*Розроблена рецептура котлет рибних дитячих «Гарбузові» шляхом повної заміни у традиційній рецептурі рибних котлет любительських основної рибної сировини на філе тріски з доданням пюре з гарбуза та повної заміни допоміжної сировини на хліб житній, яйця перепелині, молоко мигдалеве, олію оливкову. Встановлена оптимальна кількість пюре гарбуза у рецептурі, яка забезпечує страві оригінальні органолептичні властивості. Виготовлені зразки нової страви, досліджено її органолептичні та фізико-хімічні показники якості та розраховано біологічну цінність. Методом Харрінгтона проведено комплексне оцінювання якості котлет рибних дитячих «Гарбузові».*

**Ключові слова:** дитяче харчування; котлети рибні дитячі; тріска; гарбуз; біологічна цінність; органолептичні показники; оцінка якості.

*Рис.: 1. Табл.: 9. Бібл.: 31.*

**Актуальність теми дослідження.** Дитяче харчування є однією із ключових детермінант, що визначає темпи зростання дитини, її гармонійний розвиток, здатність до різних форм та видів навчання, адекватну імунну відповідь та стійкість до дії несприятливих впливів навколишнього середовища. Однак сучасне дитяче харчування характеризується помітним погіршенням харчових звичок дітей з віком, що сприяє виникненню більшості «хвороб цивілізації». У добовому раціоні дитини дедалі частіше з'являються некорисні снеки та солодощі, а кількість поживно цінних продуктів, таких як фрукти, овочі, риба, горіхи тощо значно зменшується [1]. Тому розробка страв із високою харчовою та біологічною цінністю для дитячого харчування є важливим викликом сьогодення.

**Постановка проблеми.** Корисність риби, з погляду дитячого харчування, полягає в легкому засвоєнні білка організмом дитини завдяки низькому вмісту сполучної тканини. Білок м'яса риби складається з повноцінних білків (15,0–20,0%), що містять усі незамінні амінокислоти – лізин, лейцин, метіонін, триптофан, цистин, валін та ін. Крім того, риба є джерелом поліненасичених жирних кислот групи омега-3, що підвищує біологічну цінність риб'ячого жиру, та йоду, нестача якого може негативно позначитися на розумовому розвитку дитини, а також інших не менш важливих мінеральних елементів. У м'ясі риби містяться також жиро- та водорозчинні вітаміни: А, D та групи В [2-4].

Однак невисокі органолептичні характеристики, зокрема надмірно специфічний рибний запах, непривабливий колір фаршу виробів, не викликають естетичного задоволення в дітей при вживанні рибних страв. У зв'язку з цим розроблення технології полікомпонентних кулінарних виробів на рибній основі зі збагаченням їх цінною за нутрієнтним складом сировиною дозволяє отримати готові страви з підвищеною біологічною цінністю та поліпшеними органолептичними властивостями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні досягнення в галузі фізіології та біохімії харчування є основою для створення нової рибної продукції, яка задовольняє вимоги щодо харчування та гастрономічні уподобання дитини, має високу харчову та біологічну цінність.

У наукових працях Л. С. Абрамової закладено основні принципи технології виготовлення полікомпонентних рибних продуктів для дитячого харчування [5].

За останні роки відзначається підвищення зацікавленості науковців до створення нових технологій харчової продукції з риби, збагачених харчовими волокнами, зокрема рослинною клітковиною, що підвищує їхню біологічну цінність [6]. Розроблені рецептури риборослинних продуктів для дитячого харчування з використанням ягідної сировини (обліпихи): котлети, фрикадельки, голубці; з пророщених зерен пшениці; насінням льону та вівсяних висівок [7-9]. О. І. Кутіною у співавторстві з І. Н. Ігоніною та О. О. Дряхловим обґрунтовано вибір рослинних добавок, а саме використання грибів shiitake сушених, висівок пшеничних, борошна пшеничного вищого ґатунку, ламінарії сушеної, топінамбуру сушеного при виробництві фаршів на основі тріски для одержання продуктів підвищеної харчової цінності. Розроблена рибна продукція рекомендується для систематичного споживання у складі харчових раціонів всіма віковими категоріями здорового населення в тому числі дітьми [10]. У роботі М. Д. Мукатової і М. С. Гайворонської з метою збагачення нутрієнтного складу рибних консервів для дитячого харчування використано комбінацію компонентів із моркви, гречаної крупи та картоплі [11].

Таким чином, науковці в галузі технології харчування досліджують можливість створення продукції на основі рибної сировини із внесенням компонентів рослинного походження, які сприяють підвищенню біологічної та харчової цінності та зумовлюють оригінальні органолептичні властивості.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Останні публікації висвітлюють дослідження, пов'язані з удосконаленням технологій виробництва рибних напівфабрикатів, кулінарних виробів і консервів для дитячого харчування промислового виробництва. Водночас не приділяється належної уваги питанню розробки рецептур нових видів полікомпонентних рибних страв для дитячого меню закладів готельно-ресторанного бізнесу.

**Метою статті** є обґрунтування рецептури нового виду котлет рибних дитячих «Гарбузові» зі збагаченням їх функціональними інгредієнтами для підвищення біологічної цінності й поліпшення органолептичних властивостей готової страви.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є технологія дитячих рибних котлет «Гарбузові». Предмет дослідження – рибні котлети любительські [12]; дитячі рибні котлети «Гарбузові»; філе тріски заморожене ДСТУ 4868:2007 [13]; гарбуз ДСТУ 3190-95 [14]; яйця перепелині ДСТУ 4656:2006 [15]; хліб житній ДСТУ 4583:2006 [16]; олія оливкова ДСТУ 5065:2008 [17], молоко мигдальне. Основу дослідження склали методи теоретичного узагальнення, компаративного аналізу, розрахункові, органолептичні, фізико-хімічні методи, методи кваліметричного аналізу якості. Фізико-хімічні показники якості (масову частку сухих речовин, масову частку жиру, масову частку кухонної солі) визначали за стандартними методиками [18]. Масову частку сухих речовин визначали методом висушування зразка продукту при температурі 100-105 °С; масову частку жиру – методом Со-клета; вміст кухонної солі – аргентометричним методом. Вміст вітаміну С у готових зразках котлет рибних дитячих визначали за стандартною методикою [19]. Біологічну цінність білків нової продукції розраховано методом амінокислотного скору [20]. Комплексне оцінювання якості готових виробів проведено методом Харрінгтона [21].

Відповідно до наказів Міністерства охорони здоров'я України затверджено рекомендоване Примірне чотиритижневе сезонне меню для організації харчування дітей віком від 1 до 6 (7) років у закладах освіти [22; 23]. До переліку страв у меню входять і рибні страви, а саме тюфтельки рибні в сметано-томатному соусі, шніцель рибний натуральний, котлети рибні любительські тощо. Науковців особливо цікавлять рибні котлетні маси, харчовий профіль яких можна регулювати введенням рослинних компонентів, що дозволяє підвищити біологічну цінність і покращити органолептичні властивості готових страв, задовольнити вибагливі дитячі смаки [24].

Котлети рибні любительські (прототип) виготовляються за рецептурою № 390 з морської риби – хека. За цією рецептурою, рибний фарш включає такі інгредієнти: морква, хліб пшеничний, цибуля ріпчаста, яйця курячі, молоко коров'яче, масло вершкове, сіль йодована [12]. Як відомо, котлети рибні любительські мають невисоку харчову цінність та середні органолептичні характеристики. Для усунення цих недоліків пропонується замінити інгредієнти традиційної рецептури на більш цінну сировину, що дозволить покращити низку показників, таких як консистенція, смак і запах, а також оптимізувати нутрієнтний склад страви.

Для приготування котлет рибних дитячих «Гарбузові» серед рибної сировини було обрано тріску через значний вміст білка та невисокий вміст жиру в її складі, що робить м'ясо тріски придатним для дієтичного харчування (табл. 1) [25]. Білок тріски за вмістом незамінних амінокислот не поступається білку іншим видам морських риб, а за вмістом лейцину, перевищує його вміст у минтаї, окуні морському та хека, що свідчить про високу біологічну цінність м'яса тріски (табл. 2) [26].

Таблиця 1 – Вміст білка та жиру в різних видах морської риби (г/100 г) [25]

Найменування нутрієнтів	Види риби			
	Минтай	Окунь морський	Тріска	Хек
Білки	12,2	15,3	17,8	16,6
Жири	0,4	1,5	0,7	2,2

Таблиця 2 – Амінокислотний склад білка морських риб (мг/1 г білка) [26]

Найменування амінокислоти	Види риби			
	Минтай	Окунь морський	Тріска	Хек
Валін	50,7	48,4	51,5	56,0
Ізолейцин	47,0	47,3	46,1	45,1
Лейцин	80,3	81	81,8	71,9
Лізин	91,6	95,7	91,9	91,6
Метіонін + цистин	30,3+10,5	31,9+10,5	29,6+10,7	30,7+10,9
Триптофан	13,6	12,3	11,2	10,8
Фенілаланін + тирозин	38,6+37,1	41,7+35,6	39,0+33,8	38,6+25,9
Треонін	43,9	46,0	43,9	42,1

Висока біологічна цінність м'яса тріски також підтверджується її мінерально-вітамінним складом, у якому на 100 г продукту міститься макроелементів, мг: К – 413; Са – 16; Mg – 32; Na – 54; S – 178,1; P – 202; мікроелементів Fe – 0,38 мг; Zn – 0,45 мг; Cu – 28 мкг; Se – 33,1 мкг; вітамінів, мг: А – 0,012; Е – 0,64; С-1,0; В<sub>1</sub> – 0,076; В<sub>2</sub> – 0,065; В<sub>4</sub> – 65,2; В<sub>5</sub> – 0,153; В<sub>6</sub> – 0,245; РР – 2,063 [26].

М'ясо тріски біле, ніжне і майже без кісток, що робить його ідеальним інгредієнтом для багатьох різноманітних страв.

Отже, наведені дані про хімічний склад тріски та її кулінарні властивості свідчать про доцільність використання м'яса тріски для приготування рибних котлет для дітей.

Негативну роль у житті дитини відіграє харчова алергія, поширеність якої зростає у всьому світі. Відомо, що харчова алергія пов'язана з гіперчутливістю організму дитини до деяких білкових продуктів (яйця курячі, молоко коров'яче, горіхи, білки деяких злаків). Вона є пусковим механізмом atopічних дерматитів, алергічних порушень тощо. Природа цього механізму ще не до кінця зрозуміла [27]. Однак виникненню харчової алергії у дітей можна запобігти, якщо виключити алерген з раціону, тому такі інгредієнти як яйця курячі та молоко коров'яче, були виключені з рецептури прототипу.

Введення в рецептуру котлет рибних дитячих нових інгредієнтів таких як молоко мигдальне, яйця перепелині, хліб житній та олія оливкова надає можливість покращити органолептичні властивості страви та підвищити її біологічну цінність.

Порівняльний аналіз нутрієнтного складу різних видів рослинного молока, наведений у таблиці 3, свідчить, що для збагачення котлет рибних дитячих доцільно використовувати молоко мигдальне, яке містить значну кількість кальцію, магнію, фосфору, вітамінів E та PP [28-30].

Нутрієнтний склад яєць курячих і перепелиних, який представлений у таблиці 4, доводить, що вміст кальцію, фосфору, вітамінів групи B, а також вітаміну E у перепелиних яйцях значно більше ніж у курячих, тому у рецептурі дитячих рибних котлет з метою підвищення біологічної цінності страви проведена повна заміна яєць курячих на перепелині [25; 26]. Важливою перевагою яєць перепелиних є їхня гіпоалергенність.

Таблиця 3 – Нутрієнтний склад різних видів рослинного молока на 100 г [28-30]

Види рослинного молока	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Мінеральні речовини, мг					Вітаміни, мг				
				K	Ca	Mg	P	B <sub>2</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	C	E	PP
Мигдальне	3,2	9,3	2,2	129	51,3	41,3	81,7	0,11	9,0	0,07	0,26	4,25	1,07
Кокосове	1,6	20,8	5,6	232	4	32	59	-	-	0,16	1,1	-	0,27
Сосве	3,3	1,75	5,8	118	25	25	52	0,07	23,6	0,37	-	0,11	0,51

Таблиця 4 – Нутрієнтний склад яєць курячих і перепелиних на 100 г [25; 26]

Вид яєць	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Мінеральні речовини, мг					Вітаміни, мг				
				K	Ca	Mg	P	B <sub>2</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	E	PP
Курячі	12,7	11,5	0,7	140	55	12	192	0,44	251	1,3	0,14	0,6	3,6
Перепелині	13,1	11,1	0,4	132	64	13	226	0,79	263,4	1,76	0,15	1,1	0,15

Сучасні дослідження довели, що пшениця та її продукти не тільки викликають такі захворювання, як целиакія, але й викликають різні побічні реакції в організмі людини. [31]. Тому в рецептурі прототипу дитячих рибних котлет пропонується повна заміна пшеничного хліба на житній, який містить значно меншу кількість глютену і має кращий мінерально-вітамінний склад (табл. 5) [25; 26].

Вершкове масло в рецептурі дитячих рибних котлет замінено олією оливковою, яка має переваги за нутрієнтним складом, а саме, на 100 г містить поліненасичені жирні кислоти в кількості 13,2, серед яких омега-3 і омега-6 жирні кислоти складають 0,762 і 12 г відповідно; вітамін E – 12,1 мг. До складу оливкової олії входять макроелементи - калій, кальцій, фосфор – 1; 1; 2 мг % відповідно [25; 26].

Таблиця 5 – Нутрієнтний склад хліба пшеничного і житнього на 100 г [25; 26]

Вид хліба	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Мінеральні речовини, мг					Вітаміни, мг				
				K	Ca	Mg	P	B <sub>1</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	E	PP
Пшеничний	7,9	1,0	48,3	133	23	33	87	0,16	54	0,29	0,13	1,3	3,1
Житній	6,6	1,2	33,4	245	35	47	158	0,18	60	0,6	0,17	1,4	2,0

Основним функціональним інгредієнтом у рецептурі дитячих рибних котлет «Гарбузові» є овочева сировина – гарбуз, який містить на 100 г: білків – 1,0 г; жирів – 0,1 г; вуглеводів (у т. ч. харчові волокна) – 6,5 (0,5) г; β-каротину – 3,1 мг; вітамінів, мг: B<sub>1</sub> – 0,05; B<sub>2</sub> – 0,11; B<sub>4</sub> – 8,2; B<sub>5</sub> – 0,3; B<sub>6</sub> – 0,06; C – 9,0; E – 1,06; мінеральних речовин, мг: калію – 340; кальцію – 21; магнію – 12; фосфору – 44 [25; 26].

У рецептурі котлет рибних дитячих «Гарбузові», яка наведена у таблиці 6, філе тріски частково замінено на 20 % пюре гарбуза, що є оптимальним для отримання високих органолептичних показників страви.

Таблиця 6 – Рецептура дитячих рибних котлет «Гарбузові»

№ пор.	Назва сировини	Маса сировини, г		Відповідність сировини нормативній документації
		Брутто	Нетто	
1	Філе тріски	55	50	ДСТУ 4868:2007
2	Пюре гарбуза	30	20	ДСТУ 8061:2015
3	Хліб житній	5	5	ДСТУ 4583:2006
4	Цибуля ріпчаста	8	7	ДСТУ 3234-95
5	Яйця перепелині	1 шт.	8	ДСТУ 4656:2006
6	Молоко мигдальне	8	8	ДСТУ ISO 9001 ISO 22000
7	Олія оливкова	1,5	1,5	ДСТУ 5065:2008
8	Сіль йодована	0,5	0,5	ДСТУ 4307:2004

Дані, які наведені в таблиці 7, показують, що масова частка сухих речовин у зразках дитячих рибних котлет «Гарбузові» нижча, ніж у прототипі. Завдяки цьому покращуються органолептичні показники нових виробів, а саме консистенція – вона стає соковитою. Масова частка жиру також зменшилась, тому, нові рибні котлети можуть бути рекомендовані як дієтичний продукт у дитячому харчуванні.

Таблиця 7 – Фізико-хімічні показники зразків рибних котлет любительських (прототип) та зразків дитячих рибних котлет «Гарбузові»

Найменування показника	Назва зразка	
	Рибні котлети любительські (прототип за рецептурою № 390) [12]	Дитячі рибні котлети «Гарбузові»
Масова частка сухих речовин, %	28,6	25,6
Масова частка жиру, %	2,81	2,47
Масова частка хлориду натрію %	0,5	0,49

Оцінку якості органолептичних показників зразків рибних котлет любительських (прототип за ТК № 390) [12] і котлет рибних дитячих «Гарбузові» проводили за розробленою 5-ти бальною шкалою. Котлети мають привабливий зовнішній вигляд, правильну форму, приємний колір, соковиту, ніжну консистенцію, гармонійні запах і смак. На підставі отриманих даних побудовано профілограму органолептичних властивостей зразків, яка свідчить, що найкращі показники має зразок котлет рибних дитячих «Гарбузові» (рис. 1). Таким чином, удосконалення традиційної рецептури (прототипу) забезпечує отримання виробів з гармонійними органолептичними показниками.

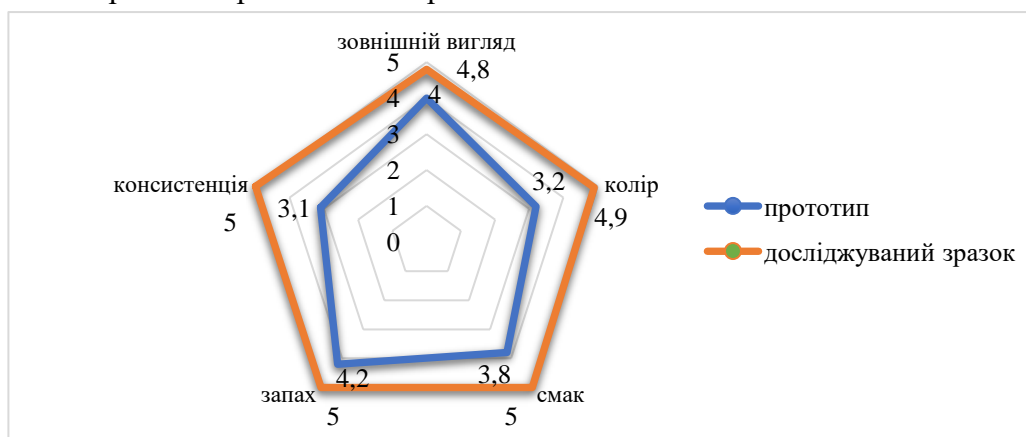


Рис. 1. Профілограма органолептичних властивостей рибних котлет любительських (прототип) та дитячих рибних котлет «Гарбузові»

Визначено, що вміст вітаміну С після теплової обробки у зразках дитячих рибних котлет «Гарбузові» становить 1,3 мг %.

Біологічну цінність білків дитячих котлет рибних «Гарбузові» розраховано методом амінокислотного скору (табл. 8).

Таблиця 8 – Амінокислотний скор білків дитячих рибних котлет «Гарбузові»

Амінокислота	Вміст НАК в ідеальному білку, мг/г (за даними ВООЗ)	Вміст НАК у дитячих рибних котлетах «Гарбузові»		АС, %
		мг / 100 г котлет	мг / 1 г білка	
Валін	50	502,9	47,9	95,8
Ізолейцин	40	492,7	46,9	117,3
Лейцин	70	847,4	80,7	115,3
Лізин	55	928,4	88,4	160,7
Метіонін + цистин	35	475,9	45,3	129,4
Триптофан	10	121,9	11,6	116,0
Фенілаланін + тирозин	60	790,5	75,3	125,5
Треонін	40	456,2	43,4	108,5

Першою лімітуючою амінокислотою є валін (АС = 95,8 %), таким чином білок котлет рибних дитячих «Гарбузові» засвоюється на 95,8 % і є повноцінним.

Методом Харрінгтона проведено комплексну оцінку якості нових дитячих рибних котлет. Цей метод передбачає 5 інтервалів, у загальному інтервалі шкали від 1 до 0: 1,00...0,80 - дуже добре (відмінно); 0,80...0,63 – добре; 0,63...0,37 – задовільно; 0,37...0,20 – погано; 0,20...0,00 – дуже погано [21]. Для розрахунку кількісної оцінки якості визначено стандартні та оригінальні показники. Стандартні показники якості –органолептичні, фізико-хімічні показники, показники безпеки та мікробіологічні. До оригінальних показників відносять вміст білків, вуглеводів, жирів, мінеральних речовин, вітамінів.

Обґрунтування вузлових значень показників якості дитячих рибних котлет «Гарбузові» наведено в таблиці 9. Нормовані значення представлені у вигляді відносного показника якості –  $K_i = 0,37$  та виділено жирним шрифтом.

Таблиця 9 – Шкала вузлових значень показників якості дитячих рибних котлет «Гарбузові»

Назва показника, одиниця виміру	Оцінка $K_i$					
	1,00	0,80	0,65	<b>0,37</b>	0,20	0,00
	Кодоване значення У					
	3,00	1,50	0,85	<b>0,00</b>	-0,50	-3,00
1	2	3	4	5	6	7
<b>Органолептичні показники</b>						
Зовнішній вигляд	5,0	4,0	3,0	<b>2,0</b>	1,5	1,0
Колір	5,0	4,0	3,0	<b>2,0</b>	1,5	1,0
Консистенція	5,0	4,0	3,0	<b>2,0</b>	1,5	1,0
Запах	5,0	4,0	3,0	<b>2,0</b>	1,5	1,0
Смак	5,0	4,0	3,0	<b>2,0</b>	1,5	1,0
<b>Фізико-хімічні показники</b>						
МЧ сухих речовин, %	24,4	24,8	25,2	<b>25,6</b>	26,4	27,2
МЧ жиру, %	2,2	2,3	2,4	<b>2,47</b>	3,0	3,5
МЧ хлориду натрію (кухонної солі),%	0,34	0,39	0,44	<b>0,49</b>	<b>0,7</b>	0,8
<b>Показники безпеки</b>						
Свинець, мг/кг, не більше	0,03	0,05	0,07	<b>0,1</b>	0,2	0,5
Кадмій, мг/кг, не більше	0,005	0,01	0,02	<b>0,03</b>	0,2	0,4
Миш'як, мг/кг, не більше	0,001	0,005	0,01	<b>0,05</b>	0,2	0,6
Ртуть, мг/кг, не більше	0,001	0,002	0,003	<b>0,005</b>	0,1	0,3
Цинк, мг/кг, не більше	2,0	3,0	4,0	<b>5,0</b>	7,0	9,0
Мідь, мг/кг, не більше	0,05	0,1	0,3	<b>0,5</b>	1,0	1,4

Закінчення табл. 9

1	2	3	4	5	6	7	
<b>Мікотоксини</b>							
Зааренол, мг/кг, не більше	0,0	0,3	0,6	<b>1,0</b>	1,5	2,0	
Патулін, мг/кг, не більше	0,0	0,01	0,03	<b>0,05</b>	0,1	0,2	
Афлатоксин β1, мг/кг, не більше	0,0	0,001	0,003	<b>0,005</b>	0,01	0,02	
<b>Пестициди</b>							
ГХЦГ( γ-ізомери), мг/кг, не більше	0,0	0,01	0,5	<b>1,0</b>	1,5	2,0	
Гептахлор ГПХ (епоксид гептахлора), мг/кг, не більше	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,0	0,0	
<b>Радіонукліди</b>							
Cs <sup>137</sup> , Бк/кг	10	200	400	<b>600</b>	800	1000	
Sr <sup>90</sup> , Бк/кг	10	100	150	<b>200</b>	400	600	
<b>Мікробіологічні показники</b>							
Кількість МАФАНМ в 1 см <sup>3</sup> , КУО, не більше	1·10	5·10	5·10 <sup>2</sup>	<b>5·10<sup>3</sup></b>	2·10 <sup>4</sup>	5·10 <sup>4</sup>	
Бактерії групи кишкової палички в 0,1 см <sup>3</sup> , не більше	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,1	0,3	
Staphylococcus aureus в 1,0 см <sup>3</sup> продукту, не більше	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,1	0,3	
Патогенні мікроорганізми, зокрема бактерії роду Salmonella, в 25 г продукту, не більше	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,1	0,3	
Дріжджі КУО, не більше в 1 г продукту, не більше	0,0	0,0	0,0	<b>0,0</b>	0,5	1,0	
Плісняві гриби КУО, в 1 г продукту, не більше	2	20	50	<b>100</b>	200	300	
<b>Макронутрієнти, г</b>							
Білки у 100 г продукту	Новий продукт	12,0	11,4	11,0	<b>10,5</b>	9,6	9,1
	Прототип	12,4	11,8	10,6	<b>10,4</b>	9,6	8,6
Жири у 100 г продукту	Новий продукт	1,5	1,9	2,2	<b>2,47</b>	3,5	4,2
	Прототип	1,3	1,8	2,0	<b>2,81</b>	3,8	4,4
Вуглеводи (харчові волокна) у 100 г продукту	Новий продукт	5,9	5,0	4,5	<b>3,75</b>	2,8	1,4
	Прототип	5,8	5,0	3,9	<b>2,98</b>	2,0	0,6
<b>Мінеральні речовини, мг</b>							
Кальцій у 100 г продукту	Новий продукт	23,3	26,7	26,0	<b>25,4</b>	23,8	22,7
	Прототип	46,0	44,7	43,8	<b>42,6</b>	40,9	38,5
Калій у 100 г продукту	Новий продукт	262,5	260,2	259,5	<b>258,7</b>	256,1	254,1
	Прототип	199,6	199,4	199,1	<b>197,5</b>	190,2	184,2
Магній у 100 г продукту	Новий продукт	28,3	27,8	27,13	<b>26,07</b>	23,2	21,4
	Прототип	28,1	27,5	26,8	<b>25,9</b>	23,8	22,2
Фосфор у 100 г продукту	Новий продукт	152,3	150,6	149,2	<b>146,88</b>	143,3	139,7
	Прототип	208,2	203	199,4	<b>197,0</b>	193,0	186,2
Залізо у 100 г продукту	Новий продукт	2,03	1,84	1,72	<b>1,51</b>	1,27	1,03
	Прототип	1,0	0,95	0,9	<b>0,74</b>	0,6	0,45
<b>Вітаміни, мг</b>							
Вітаміну В <sub>1</sub> у 100 г продукту	Новий продукт	0,193	0,183	0,173	<b>0,165</b>	0,153	0,143
	Прототип	0,09	0,08	0,06	<b>0,055</b>	0,04	0,03
Вітаміну В <sub>2</sub> у 100 г продукту	Новий продукт	0,189	0,169	0,149	<b>0,126</b>	0,099	0,079
	Прототип	0,17	0,15	0,13	<b>0,108</b>	0,09	0,06
Вітаміну В <sub>4</sub> у 100 г продукту	Новий продукт	61,7	61,1	60,4	<b>59,53</b>	57,4	55,8
	Прототип	74,9	74,3	73,6	<b>72,74</b>	70,6	69,0
Вітаміну В <sub>6</sub> у 100 г продукту	Новий продукт	0,30	0,25	0,2	<b>0,16</b>	0,11	0,08
	Прототип	0,24	0,19	0,14	<b>0,10</b>	0,05	0
Вітаміну С у 100 г продукту	Новий продукт	2,32	2,13	2,01	<b>1,8</b>	1,56	1,32
	Прототип	2,9	2,4	1,9	<b>1,35</b>	2,0	2,3
β-каротин у 100 г продукту	Новий продукт	0,75	0,7	0,65	<b>0,6</b>	0,4	0,3
	Прототип	2,7	2,1	2,15	<b>2,1</b>	1,9	1,8

За даними таблиці 9, у зразках котлет рибних дитячих «Гарбузові» збільшився вміст калію, магнію та заліза (мг) на 61,2; 0,17; 0,77 відповідно, а також збільшився вміст наступних вітамінів: В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, С (мг) на 0,11; 0,02; 0,06; 0,45 відповідно. Вміст жиру зменшився на 0,34 г, харчових волокон – збільшився на 0,77 г.

Таким чином, котлети рибні дитячі «Гарбузові» збагачені певними нутрієнтами: калієм, магнієм, залізом, вітаміном С і вітамінами групи В. Часткова заміна філе тріски в традиційній рецептурі на пюре гарбуза призвела до зниження вмісту жиру у зразках на 12,1%. Внесення овочевої сировини у рецептуру котлет рибних дитячих, збагатило зразки нової продукції харчовими волокнами.

Котлети рибні дитячі «Гарбузові» мають нескладний технологічний процес приготування, їх готують на пару, температура подавання – 65 °С.

У подальшому плануються дослідження з визначення реологічних властивостей, мікробіологічних та санітарно-гігієнічних показників якості котлет рибних дитячих «Гарбузові».

**Висновки.** Є доцільною модифікація традиційної рецептури рибних котлет любительських, які включені у сезонне меню для дітей віком від 1 до 6 (7) років для навчальних закладів, шляхом повної заміни основної рибної сировини на філе тріски з доданням пюре з гарбуза та повної заміни допоміжної сировини на хліб житній, яйця перепелині, молоко мигдалеве, олію оливкову. Введення овочевої сировини (гарбуза) у кількості 20 % у рецептуру котлет «Гарбузові» поліпшує в готовій страві органолептичні показники в порівнянні з прототипом. Заміна філе тріски в традиційній рецептурі на пюре гарбуза призвела до зниження вмісту жиру на 12,1 %. Білок котлет рибних дитячих «Гарбузові» є повноцінним і має високий ступінь засвоюваності – 95,8 %.

Комплексна оцінка якості котлет «Гарбузові» довела, що внаслідок часткової заміни філе тріски пюре з гарбуза і повної заміни допоміжної сировини, у котлетах «Гарбузові» підвищується вміст дефіцитних для дітей нутрієнтів, а саме калію, магнію, заліза, вітаміну С і вітамінів групи В; харчових волокон, завдяки чому котлети «Гарбузові» можуть розглядатися як страва підвищеної біологічної цінності.

Дитячі рибні котлети «Гарбузові» мають нескладний технологічний процес приготування і можуть бути введені до дитячого меню закладів готельно-ресторанного бізнесу.

### Список використаних джерел

1. Гуліч М. П. Харчування – вагомий фактор збереження здоров'я населення [Електронний ресурс] / М. П. Гуліч, О. М. Онопрієнко, О. Д. Ольшевська // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України : збірка тез доповідей науково-практичної конференції (до 120-річчя з дня народження академіка О. М. Марзеєва). – К., 2003. – Вип. 5. – Режим доступу: <http://www.health.gov.ua/publ/conf.nsf/50e0ce97d91c75b3c2256d8f0025c386/efa1b54347f228dec2256d95004e250e?OpenDocument>.
2. Родина Т. Г. Товароведение и экспертиза рыбных товаров и морепродуктов : учебник для вузов / Т. Г. Родина. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 400 с.
3. Экспертиза рыбы, рыбопродуктов и нерыбных объектов водного промысла. Качество и безопасность : учебник / под общ. ред. В. М. Позняковского. – СПб. : Издательство «Лань», 2016. – 572 с.
4. Позняковский В. М. Физиология питания : учебник для вузов / В. М. Позняковский, Т. М. Дроздова, П. Е. Влощинский. – 5-е изд., испр. и доп. – СПб. : Лань, 2021. – 432 с.
5. Абрамова Л. С. Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья / Л. С. Абрамова. – М. : Изд-во ВНИРО, 2005. – 175 с.
6. Сидоренко О. В. Формування асортименту та якості риборослинних продуктів : монографія / О. В. Сидоренко. – К. : КНТЕУ, 2006. – 322 с.
7. Зюзина О. Н. Разработка рецептур рыбопродуктов для детского питания с использованием ягод облепихи / О. Н. Зюзина // Известия ВУЗОВ. Пищевая технология. – 2011. – № 2-3. – С. 43-45.



8. Сафронова Т. Н. Технологии рыбных рубленых полуфабрикатов с использованием порошка из пророщенного зерна пшеницы для питания школьников / Т. Н. Сафронова, О. М. Евтухова // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 1. – С. 161-164.

9. Технологія харчових продуктів функціонального призначення : монографія / А. А. Мазаракі, М. І. Пересічний, М. Ф. Кравченко, П. О. Карпенко, С. М. Пересічна та ін. ; за ред. М. І. Пересічного. – 2-ге вид., переробл. і доп. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – 1116 с.

10. Кутина О. И. Формирование биохимических показателей качества нового ассортимента фаршей из пищевой рыбной продукции с растительными добавками для функционального питания / О. И. Кутина, И. Н. Игнатова, А. О. Дряхлов // Труды ВНИРО. – 2019. – Т. 176. – С. 95-108.

11. Мукатова М. Д. Консервы для детского питания на основе рыбного сырья / М. Д. Мукатова, М. С. Гайворонская // Вестник АГТУ. Сер.: Рыбное хозяйство. – 2010. – № 1. – С. 156-158.

12. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания при общеобразовательных школах: сборник технических нормативов / под общ. ред. В.Т. Лапшиной. – М. : Издательство «Хлебпродинформ», 2004. – С. 313.

13. ДСТУ 4868:2007. Риба заморожена. Технічні умови. – [Чинний 05.11.2007]. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 23 с.

14. ДСТУ 3190-95. Гарбузи продовольчі свіжі. Технічні умови. – [Чинний 27.12.1995]. – К. : Держспоживстандарт України, 1995. – 31 с.

15. ДСТУ 4656:2006. Яйця перепелині харчові та інкубаційні. Технічні умови. – [Чинний 01.08.2006]. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 15 с.

16. ДСТУ 4583:2006. Хліб із житнього та суміші житнього і пшеничного борошна. Загальні технічні умови. – [Чинний 01.07.2007]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – 16 с.

17. ДСТУ 5065:2008. Олія оливкова. Технічні умови постачання. – [Чинний 26.08.2009]. – К. : Держспоживстандарт України, 2009. – 19 с.

18. ГОСТ 7636–85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. – М. : Межгосударственный стандарт, 1985. – 87 с.

19. ГОСТ 7047-55. Витамины А, С, Д, В1, В2 и РР. Отбор проб, методы определения витаминов и испытания качества витаминных препаратов. – М. : Межгосударственный стандарт, 1994. – 48 с.

20. Пищевая химия / А. П. Нечаев, С. Е. Траубенберг, А. А. Кочеткова [и др.] ; под ред. А. П. Нечаева. – 6-е изд., стер. – СПб. : ГИОРД, 2015. – 672 с.

21. Harrington E. C. The desirable function / E. C. Harrington // Industrial Quality control. – 1965/21. – № 10. – Pp. 124-131.

22. Про затвердження рекомендованого Примірнього чотиритижневого сезонного меню рекомендованого для організації триразового харчування дітей віком від 1 до 6(7) років в закладах освіти та інших організованих дитячих колективах на осінній період [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 05 листопада 2021 року. № 2441. – Режим доступу: <https://moz.gov.ua/article/ministry-mandates/nakaz-moz-ukraini-vid-05112021--2441-pro-zatverdzhennja-rekomendovanogo-primirnogo-chotiritizhneвого-sezonного-menju-rekomendovanogo-dlja-organizacii-trirazovogo-harchuvannja-ditej-vikom-vid-1-do-67-rokiv-v-zakladah-osviti>.

23. Про затвердження рекомендованого Примірне чотиритижневе сезонне меню рекомендоване для організації триразового харчування дітей віком від 1 до 6 (7) років в закладах освіти та інших організованих дитячих колективах на зимовий період [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03 лютого 2022 року № 215. – Режим доступу: [https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2022/02/35816-dodatok\\_do\\_nakazu\\_zima.pdf](https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2022/02/35816-dodatok_do_nakazu_zima.pdf).

24. Маслова Г. В. Инновационные технологии переработки объектов водного промысла : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Г. В. Маслова ; Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. – М., 2011. – 275 с.

25. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 1: Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов / И. М. Скурихин и др. – М. : Агропромиздат, 1987. – 224 с.

26. Химический состав пищевых продуктов. Кн. 2: Справочные таблицы содержания аминокислот, жирных кислот, витаминов, макро – и микро – элементов, органических кислот и углеводов / И. М. Скурихин и др. – М., 1987. – 360 с.

27. Уманець Т. Р. Сучасна стратегія ведення дітей з алергією [Електронний ресурс] / Т. Р. Уманець. – Режим доступу: <https://health-ua.com/article/41259-suchasna-strategiya-vedennya-dtej-z-alergiyu>.
28. Мигдалеве молоко: користь та шкода [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://medfond.com/korysni-produkty/korist-migdalevogo-moloka.html>.
29. Соєве молоко, натуральне та ванільне, не збагачене. Хімічний склад та харчова цінність [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://freestyle.in.ua/moloko-soyeve-kkal-kalorijnist-soyeve-moloko-naturalne-ta-vanilne-ne-zbagachene-ximichnij-sklad-ta-xarchova-cinnist/>.
30. Кокосове молоко: користь і шкода для організму [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://cbo.org.ua/kokosove-moloko-korist-i-shkoda-dlya-organizmu>.
31. Непереносимість глютену без целиакії: як діагностувати і лікувати? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.vz.kiev.ua/neperenosymist-glyutenu-bez-tseliakiyi-yak-diagnostuvaty-i-likuvaty/>.

### References

1. Hulich, M.P., Onopriienko, O.M., Olshevska, O.D. (2003). Kharchuvannia – vahomyi faktor zberezhenia zdorovia naseleennia [Nutrition is a significant factor in preserving the health of the population]. *Aktualni pytannia hihiieny ta ekolohichnoi bezpeky Ukrainy: zbirka tez dopovidey naukovo-praktychnoi konferentsii (do 120-richchia z dnia narodzhennia akademika O. M. Marzeyeva) – Current issues of hygiene and ecological safety of Ukraine: a collection of theses reports of the scientific and practical conference (to the 120th anniversary of the birth of academician O. M. Marzeev)*. <http://www.health.gov.ua/publ/conf.nsf/50e0ce97d91c75b3c2256d8f0025c386/efa1b54347f228dec2256d95004e250e?OpenDocument>.
2. Rodina, T.G. (2007). *Tovarovedenie i ekspertiza ribnikh tovarov i moreproduktov [Commodity research and examination of fish products and seafood]*. Izdatelskii tsentr «Akademiia».
3. Poznyakovskii, V.M. (Ed.). (2016). *Ekspertiza ribi, riboproduktov i neribnikh obektov vodnogo promisla. Kachestvo i bezopasnost [Examination of fish, fish products and non-fish objects of aquaculture. Quality and safety]*. Izdatelstvo «Lan».
4. Pozniakovskii, V.M., Drozdova, T.M., & Vloshchinskii, P.Ye. (2021). *Fiziologiya pitaniia [Physiology of nutrition]*. Lan.
5. Abramova, L.S. (2005). *Polikomponentnie produkti pitaniia na osnove ribnogo siria [Poly-component food products based on fish raw materials]*. Iz-vo VNIRO.
6. Sydorenko, O.V. (2006). *Formuvannia asortymentu ta yakosti ryboroslynykh produktivn [Formation of the assortment and quality of riboraline products]*. KNTEU.
7. Zyuzina, O.N. (2011). *Razrabotka retseptur riborastitelnykh produktov dlya detskogo pitaniya s ispolzovaniem yagod oblepikhi [Development of recipes for fish and vegetable products for baby food using sea buckthorn berries]*. *Izvestiia VUZOV. Pishchevaia tekhnologiya – Izvestiya VUZOV. Food technology*, 2-3, 43-45.
8. Safronova, T.N., & Yevtukhova, O.M. (2014). *Tekhnologii ribnikh rublenikh polufabrikatov s ispolzovaniem poroshka iz prorozhchennogo zerna pshenitsi dlya pitaniya shkolnikov [Technologies of rybnykh rublenykh semi-finished products using powder from sprouted wheat grain for feeding school-children]*. *Vestnik KrasGAU – Vestnik KrasGAU*, 1, 161-164.
9. Peresichnyi, M.I. (Ed.). (2012). *Tekhnologiya kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia [Technology of functional food products]*. Kyiv. nats. torh.-ekon. un-t.
10. Kutina, O.I., Ignatova, I.N., & Dryakhlov, A.O. (2019). *Formirovanie biokhimicheskikh pokazatelei kachestva novogo assortimenta farshei iz pishchevoi ribnoi produktsii s rastitelnyimi dobavkami dlia funktsionalnogo pitaniia [Formation of biochemical indicators of the quality of a new range of minced meat from fish food products with vegetable additives for functional nutrition]*. *Trudi VNIRO – Proceedings of VNIRO*, 176, 95-108.
11. Mukatova, M.D., Gaivoronskaya, M.S. (2010). *Konservi dlia detskogo pitaniia na osnove ribnogo siria [Canned food for children based on fish raw materials]*. *Vestnik AGTU. Ser.: Ribnoe khozyaistvo – Bulletin of ASTU. Ser.: Fisheries*, 1, 156-158.
12. Lapshina, V.T. (Ed.). (2004). *Sbornik retseptur blyud i kulinarykh izdelii dlia predpriatii obshchestvennogo pitaniia pri obshcheobrazovatelnykh shkolakh: sbornik tekhnicheskikh normativov [Collection of recipes for dishes and culinary products for public catering establishments at secondary schools: a collection of technical standards]*. Izdatelstvo «Khlebprodinform».

13. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2008). *Ryba zamorozhena. Tekhnichni umovy (DSTU 4868:2007) [The fish is frozen. Specifications (DSTU 4868:2007)]*.
14. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (1995). *Harbuzy prodovolchi svizhi. Tekhnichni umovy (DSTU 3190-95) [Edible pumpkins are fresh. Specifications (DSTU 3190-95)]*.
15. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2007). *Yaitsia perepelyni kharchovi ta inkubatsiini. Tekhnichni umovy (DSTU 4656:2006) [Quail eggs are edible and hatching. Specifications (DSTU 4656:2006)]*.
16. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2006). *Khlib iz zhytnoho ta sumishi zhytnoho i pshenychnoho boroshna. Zahalni tekhnichni umovy (DSTU 4583:2006) [Rye bread and a mixture of rye and wheat flour. General technical conditions (DSTU 4583:2006)]*.
17. Derzhspozhyvstandart Ukrainy. (2009). *Oliia olyvkova. Tekhnichni umovy postachannia (DSTU 5065:2008) [Olive oil. Technical conditions (DSTU 5065:2008)]*.
18. Izdatelstvo standartov (1985). *Riba, morskije mlekopitayushchie, morskije bespozvonochnie i produkti ikh pererabotki. Metodi analiza (GOST 7636-85) [Fish, marine mammals, marine invertebrates and their derivatives. Analysis methods (GOST 7636-85)]*.
19. Izdatelstvo standartov (1994). *Vitamini A, S, D, VI, V2 i RR. Otbor prob, metodi opredeleniya vitaminov i ispitaniya kachestva vitaminnikh preparatov (GOST 7047-55) [Vitamins A, C, D, B1, B2 and PP. Sampling, methods for determining vitamins and testing the quality of vitamin preparations (GOST 7047-55)]*.
20. Nechaev, A.P., Traubenberg, S.Ye., Kochetkova, A.A. (2015). *Pishchevaya khimiia [Food chemistry]*. GIORD.
21. Harrington, E.C. (1965). The desirable function. *Industrial Quality control*, 21(10), 124-131.
22. *Pro zatverdzhennia rekomendovanoho Prymirnogo chotyrytyzhnevoho sezonnoho menu rekomendovanoho dlia orhanizatsii tryrazovoho kharchuvannia ditei vikom vid 1 do 6(7) rokiv v zakladakh osvity ta inshykh orhanizovanykh dytiachykh kolektyvakh na osinnii period [On the approval of the recommended Sample four-week seasonal menu recommended for the organization of three meals a day for children aged 1 to 6(7) years in educational institutions and other organized children's groups for the autumn period]*, Order of the Ministry of Health of Ukraine dated November 5, 2021 № 2441. <https://moz.gov.ua/article/ministry-mandates/nakaz-moz-ukraini-vid-05112021--2441-pro-zatverdzhennja-rekomendovanogo-primirnogo-chotiritizhnevogo-sezonnoho-menju-rekomendovanogo-dlja-organizacii-trirazovogo-harchuvannja-ditej-vikom-vid-1-do-67-rokiv-v-zakladah-osviti>.
23. *Pro zatverdzhennia rekomendovanoho Prymirne chotyrytyzhneve sezonno menu rekomendovane dlia orhanizatsii tryrazovoho kharchuvannia ditei vikom vid 1 do 6 (7) rokiv v zakladakh osvity ta inshykh orhanizovanykh dytiachykh kolektyvakh na zymovyi period [On the approval of the recommended Sample four-week seasonal menu recommended for the organization of three meals a day for children aged 1 to 6 (7) years in educational institutions and other organized children's groups for the winter period]*, Order of the Ministry of Health of Ukraine dated February 3, 2022 № 215. [https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2022/02/35816-dodatok\\_do\\_nakazu\\_zima.pdf](https://nus.org.ua/wp-content/uploads/2022/02/35816-dodatok_do_nakazu_zima.pdf).
24. Maslova, G.V. (2011). *Innovatsionnie tekhnologii pererabotki obektov vodnogo promisla [Innovative technologies for processing objects of the water industry]*. [PhD dissertation, Moscow].
25. Skurikhin, I.M. (Ed.) (1987). *Khimicheskii sostav pishchevikh produktov. Kn. 1: Spravochnie tablitsi sodержaniya osnovnykh pishchevikh veshchestv i energeticheskoi tsennosti pishchevikh produktov [Chemical composition of food products. Book 1: Reference tables of the content of basic nutrients and the energy value of food products]*. Agropromizdat.
26. Skurikhin, I.M. (Ed.) (1987). *Khimicheskii sostav pishchevikh produktov. Kn. 2: Spravochnie tablitsi sodержaniya aminokislot, zhirnykh kislot, vitaminov, makro- i mikroelementov, organicheskikh kislot i uglevodov [Chemical composition of food products. Book 2: Reference tables of the content of amino acids, fatty acids, vitamins, macro and micro elements, organic acids and carbohydrates]*. Agropromizdat.
27. Umanets, T.R. (2019). *Suchasna stratehiia vedennia ditei z alerhiieiu [Modern strategy of managing children with allergies]*. <https://health-ua.com/article/41259-suchasna-strategya-vedennya-dtej-z-alergiyu>.
28. *Myhdaleve moloko: koryst ta shkoda [Almond milk: benefits and harm]*. <https://medfond.com/korysni-produkty/korist-migdalevogo-moloka.html>.
29. *Soieve moloko, naturalne ta vanilne, ne zbahachene. Khimichni sklad ta kharchova tsinnist [Soy milk, natural and vanilla, not enriched. Chemical composition and nutritional value]*. <https://free-style.in.ua/moloko-soyevе-kkal-kalorijnist-soyevе-moloko-naturalne-ta-vanilne-ne-zbahachene-ximichnij-sklad-ta-xarchova-cinnist>.

30. *Kokosove moloko: koryst i shkoda dlia orhanizmu [Coconut milk: benefits and harm for the body]*. <https://cbo.org.ua/kokosove-moloko-korist-i-shkoda-dlya-organizmu>.

31. *Neperenosymist hliutenu bez tseliakii: yak diahnostuvaty i likuvaty? [Gluten intolerance without celiac disease: how to diagnose and treat?]*. <https://www.vz.kiev.ua/neperenosymist-glyutenu-bez-tseliakii-yak-diahnostuvaty-i-likuvaty>.

Отримано 01.03.2023

UDC 641.5:639.2:543.92

### *Iryna Ditrikh*

PhD in Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Hotel and Restaurant Business  
National University of Food Technologies (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [irindtr@gmail.com](mailto:irindtr@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8109-2514>

ResearcherID: [D-4179-201](https://orcid.org/0000-0001-8109-2514). SCOPUS Author ID: [6505780537](https://orcid.org/0000-0001-8109-2514)

## USE OF PUMPKIN IN THE PRODUCTION OF BABY FISH CUTLETS

*Modern baby food is characterized by a marked deterioration in children's eating habits. Unhealthy foods (snacks and sweets) are increasingly appearing in children's diets, and the amount of nutritionally valuable foods (vegetables, fish, etc.) is significantly decreasing. That is why it is important to introduce dishes with a balanced nutritional composition into children's diets.*

*An analysis of research and publications in the field of baby food technology has shown that little attention has been paid to the development of recipes for multicomponent fish dishes for the children's menu of hotel and restaurant business establishments in the scientific literature today.*

*The aim of the article is to substantiate the recipe for children's fish cutlets "Pumpkin" with enrichment with functional ingredients to increase the biological value and improve the organoleptic properties of the finished dish.*

*The recipe of children's fish cutlets "Pumpkin" was developed by completely replacing the main fish raw material in the traditional recipe of amateur fish cakes with cod fillets with the addition of pumpkin purée and completely replacing the auxiliary raw materials with rye bread, quail eggs, almond milk, olive oil. Samples of the new dish were made, its organoleptic and physicochemical quality indicators were studied, and its biological value was calculated. A comprehensive assessment of the quality of children's fish cutlets "Pumpkin" was carried out using the Harrington method.*

*Fish cutlets for children "Pumpkin" have a simple technological process of preparation and can be included in the children's menu of hotel and restaurant business establishments.*

**Keywords:** baby food; fish cutlets for children; cod; pumpkin; biological value; organoleptic parameters; quality assessment.

*Fig.: 1. Table: 9. References: 31.*

**Тетяна Філінська<sup>1</sup>, Валерія Шевченко<sup>2</sup>, Антоніна Філінська<sup>3</sup>,  
Сергій Павлюк<sup>4</sup>, Ірина Суха<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)  
E-mail: [f11nskaya@ukr.net](mailto:f11nskaya@ukr.net)

<sup>2</sup>магістрант кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)  
E-mail: [Torch4488@gmail.com](mailto:Torch4488@gmail.com)

<sup>3</sup>старший викладач кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)  
E-mail: [antoniyafilin@ukr.net](mailto:antoniyafilin@ukr.net)

<sup>4</sup>магістрант кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)  
E-mail: [serpik07@ukr.net](mailto:serpik07@ukr.net)

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій природних і синтетичних полімерів, жирів та харчової продукції  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)  
E-mail: [irinasuha3@gmail.com](mailto:irinasuha3@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СУМІШЕЙ БОРОШНА

*Борошно є компонентом багатьох видів харчової продукції, таких як хлібобулочні, макаронні, кондитерські вироби, м'ясні, рибні емульсійні продукти, соуси та низькокалорійні майонези. Розширення асортименту борошняної продукції супроводжується введенням до рецептури купажів борошна та збагачення їх корисними нутрієнтами. У статті наведено результати дослідження властивостей різних видів борошна та їх багатокомпонентних сумішей. Визначено показник вологоутримуючої здатності експериментальним шляхом методом центрифугування і розрахунковим способом за принципом адитивності. Найвищий показник вологоутримуючої здатності має кокосове борошно (500,5 %) з високим вмістом харчових волокон (39000 мг/100 г продукту). Найменший даний показник у мигдального борошна (89,5 %), яке містить на порядок менше харчових волокон (3000 мг/100 г продукту), і в рази більше жирів. Досліджена можливість коригування показника вологоутримуючої здатності шляхом зміни кількості окремих компонентів в сумішах, що містять у своєму складі різні види борошна. Збільшуючи вміст борошна з високим показником вологоутримуючої здатності можливо прогнозовано збільшувати цей показник для купажів.*

**Ключові слова:** борошно; багатокомпонентні суміші; властивості; вологоутримуюча здатність; функціональні продукти.

Рис.: 4. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Борошно виготовляють із різної сировини й використовують для виробництва широкого асортименту харчових продуктів, таких як: хліб, хлібобулочні, макаронні, борошняні кондитерські вироби та ін. Борошно також входить до складу м'ясних рибних, водно-жирових емульсійних продуктів, його використовують як загусник для супів, соусів та інших страв. До загальних характеристик борошна відносять його хімічний та гранулометричний склад. Основними технологічними показниками борошняної сировини, яка використовується у хлібопечінні є дисперсність, газоутворювальна й газоутримувальна здатність та ін. Для борошна, як компонента емульсійних продуктів, особливо низькожирних, важливою характеристикою є вологоутримуюча здатність. Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості орієнтовані на випуск продуктів спеціального призначення і потребують удосконалення їхнього рецептурного складу та збагачення функціональними інгредієнтами. Це завдання частково вирішується і за рахунок використання багатокомпонентних сумішей борошна, що потребує дослідження їхніх властивостей.

**Постановка проблеми.** Використання в рецептурах харчових продуктів сумішей різних видів борошна, які відрізняються за складом та показниками якості, призводить до формування складних систем, властивості яких потребують вивчення і дослідження впливу на них кожного з компонентів. З урахуванням актуальності проблеми доцільним є дослідження показників як окремих видів борошна, так і їх сумішей із різною кількістю компонентів у системі, а також вивчення можливості коригування властивостей композицій шляхом зміни кількості окремих компонентів у суміші.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Борошняні продукти широко представлені в раціоні харчування сучасної людини. Вони як багатокомпонентні системи є цікавим об'єктом досліджень для науковців. Особлива увага приділяється вивченню властивостей борошняної сировини та її впливу на якість продукції. При виробництві функціональних борошняних виробів використовують нетрадиційну борошняну сировину, у тому числі й таку, що не має глютену та містить у своєму складі корисні нутрієнти. Автори [1] пропонують виготовляти печиво на основі суміші пшеничного борошна з амарантовим і льняним, які є безглютеновими й характеризуються досить високим вмістом фізіологічно корисних компонентів (повноцінних білків, вітамінів, макро- і мікроелементів, харчових волокон та ін.).

Досліджено технологічні властивості різних видів борошна, що входять до рецептурного складу хліба, рекомендованого для харчування хворих на целиакію [2]. У роботі наведено інформацію щодо впливу таких показників борошна, як вологоутримуюча, газоутворювальна здатність і вміст власних цукрів на технологічні властивості та показники якості готових виробів. Здатність борошняної сировини утримувати вологу в цій роботі визначалася методом центрифугування.

Для розширення асортименту страв вегетаріанського спрямування розроблено рецептуру сухариків, яка містить суміш пшеничного борошна з гречаним і вівсяним [3]. Така композиція запропонована з метою збалансування амінокислотного складу білків і збагачення продукту комплексом біологічно активних речовин. У роботі наведено результати досліджень фізико-хімічних та технологічних властивостей кожного виду борошна й тіста на їхній основі.

Авторами [4] обґрунтована можливість використання окремих видів борошна та їх купажів у складі функціональних м'ясних продуктів з метою заощадження ресурсів цінних білків тваринного походження та покращення структурно-механічних показників продукту. Суміші кукурудзяного борошна з льняним та пшеничним у різних співвідношеннях доцільно вводити до рецептур м'ясних продуктів, призначених для харчування дітей дошкільного та шкільного віку. Проведено дослідження щодо використання льняного та рисового борошна у виробництві функціональних паштетних продуктів [5], визначено показники люпинового борошна для виробництва м'ясних напівфабрикатів [6].

Як стабілізуючі добавки в рецептурах низькожирних емульсійних продуктів використовують різноманітні за походженням, складом, будовою та властивостями компоненти, серед яких є борошно [7; 8]. Сучасні дослідження, які спрямовані на одержання емульсійних продуктів із низьким вмістом жиру й із функціональними властивостями, здійснюються з урахуванням характеристик рецептурних компонентів та їх можливих змін в технологічному процесі. Борошно, як компонент водно-жирових емульсій, має характеризуватися високим показником вологоутримуючої здатності, щоб забезпечувати формування низькожирних продуктів потрібної консистенції [9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням використання нетрадиційної борошняної сировини у виробництві харчової продукції приділяється значна увага. Однак виконувани дослідження переважно стосуються вивчення властивостей окремих видів борошна й нагальним є завдання визначення показників якості багатокомпонентних купажів борошна.

**Метою статті** є дослідження властивостей як окремих видів борошна, так і їх багатокомпонентних сумішей, встановлення можливості регулювання такого показника, як вологоутримуюча здатність для купажів, а також формування багатокомпонентних борошняних сумішей із заданими показниками.

**Виклад основного матеріалу.** Для досліджень використовували різні види борошна і пшеничні висівки, характеристики яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Показники якості різних видів борошна і пшеничних висівок

№ п/п	Назва борошна	Енергетична цінність на 100 г продукту, ккал	Поживна цінність на 100 г продукту, г		
			білки	жири	вуглеводи
1	Кокосове	340	44,67	12,33	19,67
2	Льняне	390	23,60	9,38	50,50
3	Кунжутне	390	28,08	9,20	46,20
4	Гречане	335	12,62	3,10	70,59
5	Гарбузове	479	26,20	25,68	32,40
6	Житнє	290	8,90	1,70	61,80
7	Вівсяне	382	11,90	6,20	65,70
8	Рисове (безглютенове)	330	7,00	1,00	71,70
9	Кукурудзяне	331	8,90	1,50	72,10
10	Каштанове	371	7,00	3,40	70,00
11	Рисове	277	8,80	0,50	77,10
12	Пшеничне	334	10,30	2,10	70,00
13	Мигдальне	623	19,00	55,00	9,00
14	Пшеничні висівки	186	16,0	3,8	21,95

Вологоутримуючу здатність визначали методом центрифугування [10]. Для цього у пробірку для центрифуги вносили наважку досліджуваного зразка й додавали визначену кількість дистильованої води. Вміст пробірки ретельно переміщували і залишали у стані спокою на 30 хвилин для набухання зразка за температури 20-22 °С, після чого пробірки центрифугували. Показник вологоутримуючої здатності у відсотках розраховували за формулою (1):

$$W = \frac{m_3 - (m_1 + m_2)}{m_2} \cdot 100 \quad (1)$$

де  $W$  – вологоутримуюча здатність, %;

$m_1$  – маса пустої пробірки, г;

$m_2$  – маса наважки, г;

$m_3$  – маса пробірки з гідратованим зразком після центрифугування, г.

Одержані показники вологоутримуючої здатності досліджуваних зразків борошна і пшеничних висівок наведено на рис. 1.

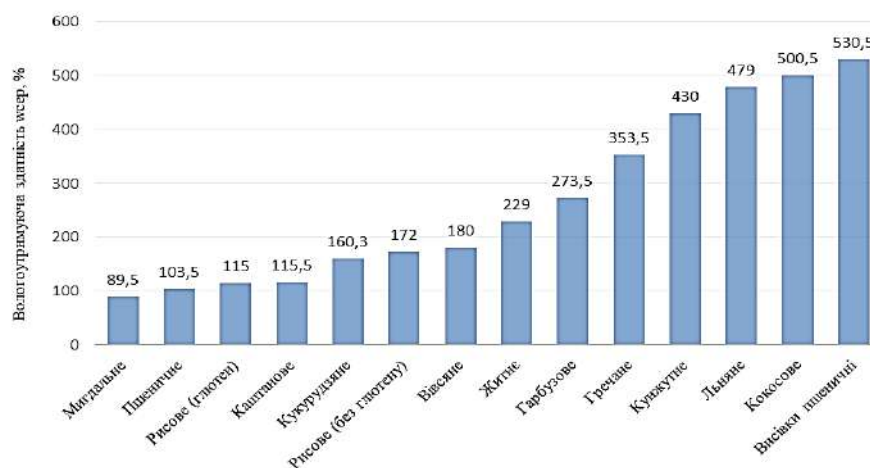


Рис. 1. Показники вологоутримуючої здатності різних видів борошна і пшеничних висівок

Як видно з рис. 1, найнижчий показник вологоутримуючої здатності має мигдальне борошно, а найвищий – кокосове борошно та пшеничні висівки. Пояснити це можна, проаналізувавши їхній склад (табл. 2).

Таблиця 2 – Показники якості мигдального, кокосового борошна і пшеничних висівок

№ п/п	Назва борошна	Енергетична цінність на 100 г продукту, ккал	Поживна цінність на 100 г продукту, г			Вміст харчових волокон, мг/100 г	Вологоутримуюча здатність, %
			білки	жири	вуглеводи		
1	Мигдальне	623	19,00	55,00	9,00	3000	89,5
2	Кокосове	340	44,67	12,33	19,67	39000	500,5
3	Висівки пшеничні	779	16,0	3,8	21,95	40200	530,5

Мигдальне борошно, показник вологоутримуючої здатності якого найнижчий, характеризується високим вмістом жирів і малою кількістю білків та харчових волокон, а саме останні виявляють властивості гідроколоїдів. Тоді як вміст харчових волокон у кокосовому борошні значно вище.

Досліджено багатокомпонентні суміші, які містять у своєму складі борошно з різними показниками вологоутримуючої здатності, експериментально визначено показник вологоутримуючої здатності сумішей, а також розраховано його величину за принципом адитивності з урахуванням частки кожного компоненту в суміші (табл. 3).

Таблиця 3 – Експериментально визначена й розрахована вологоутримуюча здатність сумішей борошна

№ суміші	Склад суміші		Вологоутримуюча здатність, %			
	Борошно	Вміст, %	Визначена	Розрахована	Відхилення	
					абсолютне	відносне, %
1	2	3	4	5	6	7
Двокомпонентні суміші кокосового і мигдального борошна						
1	Кокосове	50	334,5	295,0	39,5	11,8
	Мигдальне	50				
2	Кокосове	75	405,0	398,0	7,0	1,7
	Мигдальне	25				
3	Кокосове	25	203,0	192,0	11,0	5,4
	Мигдальне	75				
Трикомпонентні суміші льняного, житнього і пшеничного борошна						
4	Льняне	20	151,0	204,0	53,0	26,0
	Житнє	20				
	Пшеничне	60				
5	Льняне	50	275,0	316,0	41,0	13,0
	Житнє	20				
	Пшеничне	30				
6	Льняне	40	236,5	304,0	67,5	22,2
	Житнє	40				
	Пшеничне	20				
Чотирикомпонентні суміші кунжутного, гречаного, кукурудзяного і рисового борошна						
7	Кунжутне	30	305,5	314,0	8,5	2,7
	Гречане	40				
	Кукурудзяне	20				
	Рисове	10				
8	Кунжутне	10	183,5	188,5	5,0	2,7
	Гречане	10				
	Кукурудзяне	40				
	Рисове	40				
9	Кунжутне	45	291,5	309,0	17,5	5,7
	Гречане	20				
	Кукурудзяне	10				
	Рисове	25				



Як видно з табл. 3 і рис. 2 відхилення експериментально визначених показників вологоутримуючої здатності й теоретично розрахованих відрізняються та коливаються в широкому діапазоні величин. Тому розрахунковий метод допускається використовувати для купажів лише для попередніх розрахунків з наступним експериментальним визначенням вологоутримуючої здатності багатокомпонентних сумішей.

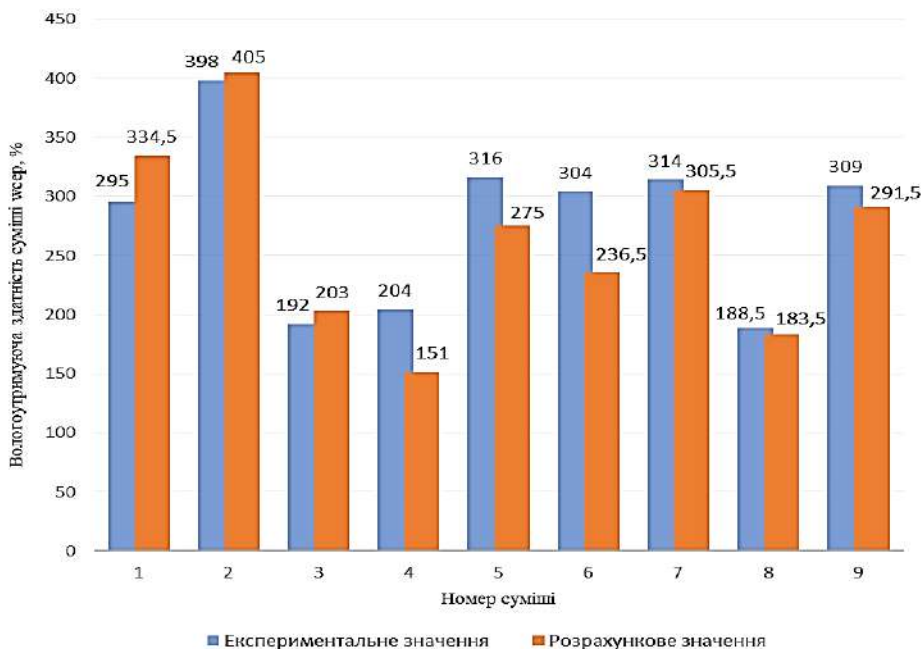


Рис. 2. Показники вологоутримуючої здатності сумішей борошна, отримані експериментальним шляхом і розрахунковим методом

Збільшення кількості борошна з високим показником вологоутримуючої здатності забезпечує збільшення даного показника для всієї суміші. Як видно з рис. 3, для двокомпонентної суміші мигдального й кокосового борошна збільшення кількості останнього до 75 % в 4,5 раза збільшує показник вологоутримуючої здатності суміші.

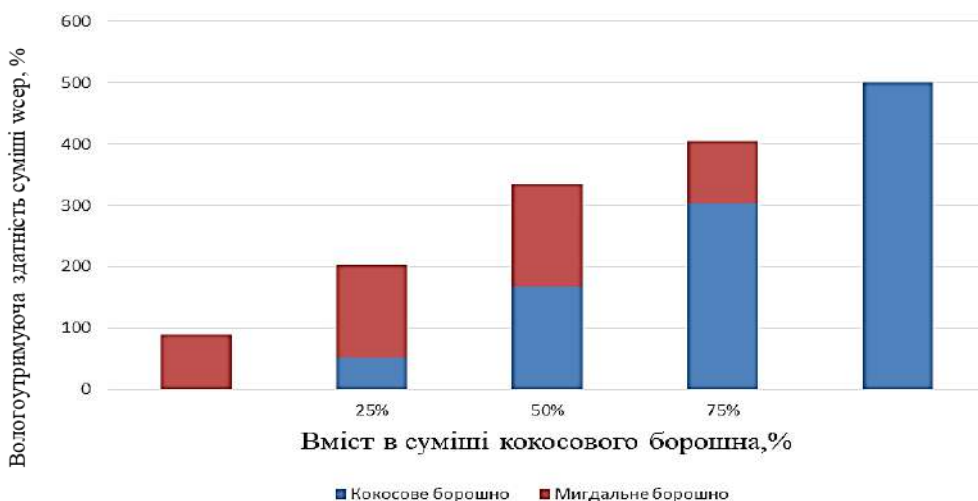


Рис. 3. Вологоутримуюча здатність двокомпонентної суміші кокосового й мигдального борошна

Трикомпонентна суміш льняного, житнього і пшеничного борошна також має сталу тенденцію до збільшення показника вологоутримуючої здатності зі збільшенням в її складі частки льняного борошна (рис. 4).

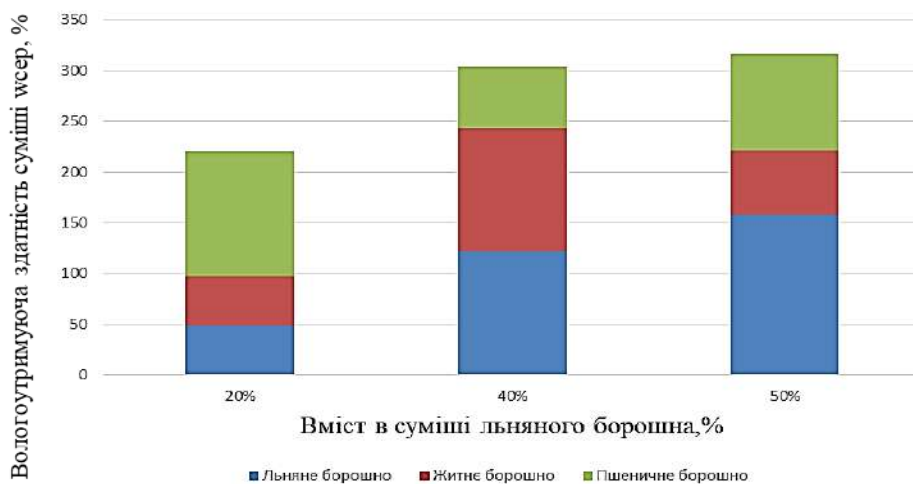


Рис. 4. Вологоутримуюча здатність трикомпонентної суміші льняного, житнього та пшеничного борошна

Прогнозоване збільшення вологоутримуючої здатності має місце і для досліджуваних чотирикомпонентних сумішей, що містять борошно як з невисоким показником вологоутримуючої здатності (рисове і кукурудзяне), так і борошно з досить високим показником (кунжутне і гречане). Як видно з таблиці 3, збільшення в суміші загального вмісту останніх до 70 % забезпечує зростання показника вологоутримуючої здатності до 305,5 % у порівнянні з 183,5 % для суміші із загальним вмістом кунжутного і гречаного борошна 20 %.

Досліджена можливість збільшення показника вологоутримуючої здатності борошна додаванням висівок, які характеризуються високим вмістом харчових волокон. На прикладі суміші пшеничного борошна, з невисоким показником вологоутримуючої здатності та пшеничних висівок було підтверджено можливість прогнозованого збільшення показника вологоутримуючої здатності суміші шляхом регулювання кількості доданих висівок (табл. 4). Збільшення в суміші кількості пшеничних висівок з 25 до 75 % дозволяє втричі збільшити показник вологоутримуючої здатності. До того ж введення висівок дає можливість збагачувати продукти харчовими волокнами та цінними нутрієнтами.

Таблиця 4 – Вологоутримуюча здатність пшеничного борошна, пшеничних висівок та їх сумішей

№ суміші	Склад суміші		Вологоутримуюча здатність, %
	Компонент суміші	Вміст, %	
1	Пшеничне борошно	100	103,5
	Пшеничні висівки	0	
2	Пшеничне борошно	75	159,0
	Пшеничні висівки	25	
3	Пшеничне борошно	50	305,0
	Пшеничні висівки	50	
4	Пшеничне борошно	25	476,5
	Пшеничні висівки	75	
5	Пшеничне борошно	0	530,5
	Пшеничні висівки	100	

**Висновки.** На підставі проведених досліджень визначені показники вологоутримуючої здатності різних видів борошна і їх багатокомпонентних сумішей. Кокосове борошно має найбільший показник вологоутримуючої здатності 500,5 %, для мигдального борошна його величина найнижча і дорівнює 89,5 %. Така різниця в показниках пояснюється відмінностями складу, а саме вмістом харчових волокон, який у кокосового борошна більш ніж у 10 разів вище ніж у мигдального. Присутня у великій кількості ча-

стка жиру у складі мигдального борошна також негативно відображається на його здатності утримувати вологу. Виконані розрахунки вологоутримуючої здатності дво-, три- і чотирикомпонентних купажів борошна за принципом адитивності з урахуванням частки кожного компоненту в суміші. Встановлена можливість створення купажів борошна з прогнозованою величиною показника вологоутримуючої здатності. Додавання до купажів кокосового, льняного, кунжутного борошна з високою вологоутримуючою здатністю сприяє збільшенню даного показника для сумішей. Отримані результати щодо можливості збільшення показника вологоутримуючої здатності пшеничного борошна шляхом додавання до нього висівків з високим вмістом харчових волокон (40 200 мг/100 г продукту). Чим більше висівків вводиться до складу суміші, тим вище отримуваний показник вологоутримуючої здатності. Збільшення кількості висівків у суміші з 25 до 75 % забезпечує збільшення вологоутримуючої здатності втричі зі 159 до 476,5 %.

### Список використаних джерел

1. Миколенко С. Ю. Дослідження впливу амарантового та льняного борошна на якість печива / С. Ю. Миколенко, А. А. Захаренко // Технічні науки та технології. – 2021. – № 1(19). – С. 228–240. – DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1\(19\)-228-240](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1(19)-228-240).
2. Грищенко А. М. Технологічні властивості безглютенних видів сировини [Електронний ресурс] / А. М. Грищенко, В. І. Дробот // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. – 2014. – № 46(1). – С. 161–166. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np\\_2014\\_46%281%29\\_40](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_46%281%29_40).
3. Розширення асортименту страв із полізернової суміші вегетаріанського меню для ресторанів та аперведичних кафе / Н. Е. Фролова, О. М. Тищенко, Т. М. Губар, Д. О. Когут, А. Г. Овсяник // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2021. – № 32(71), № 4. – С. 210–216. – DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/32>.
4. Обґрунтування рецептур функціональних паштетних продуктів, призначених для харчування дітей дошкільного та шкільного віку / Л. М. Борсолук, Л. У. Войцехівська, О. В. Франко, Т. В. Шелкова, С. Б. Вербицький // Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. Ін-т прод. ресурсів НААН. – 2018. – № 10. – С. 49–62. – DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-06>.
5. Оцінювання можливості та доцільності використання лляного та рисового борошна у складі функціональних паштетних продуктів [Електронний ресурс] / Л. Борсолук, Л. Войцехівська, В. Лизова, С. Вербицький // Стан і перспективи харчової науки та промисловості : збірник тез IV Міжнародної науково-технічної конференції. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, 2017. – С. 124–126. – Режим доступу: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22120>.
6. Паска М. З. Функціонально-технологічні показники люпинового борошна та дивосилу в контексті виробництва м'ясних напівфабрикатів / М. З. Паска, О. Б. Маслійчук // Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – 2020. – № 31(70), № 2. – С. 136–142. – DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/23>.
7. Чоні І. В. Використання природних стабілізаторів у технології емульсійної продукції [Електронний ресурс] / І. В. Чоні, Т. Ю. Суткович // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2015. – № 1(73). – С. 54–59. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett\\_n\\_2015\\_1\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett_n_2015_1_8).
8. Чоні І. В. Розробка нової емульсійної продукції на основі рослинної сировини [Електронний ресурс] / І. В. Чоні, Н. П. Коваленко // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2008. – № 1. – С. 108–111. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett\\_n\\_2008\\_1\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett_n_2008_1_24).
9. Філінська Т. Г. Природні стабілізатори для низькожирних емульсійних продуктів [Електронний ресурс] / Т. Г. Філінська, В. В. Шевченко, А. О. Філінська // Світ наукових досліджень : матеріали Міжнародної мультидисциплінарної наукової інтернет-конференції (м. Тернопіль, Україна). – Переворськ, Польща, 2022. – Вип. 12. – С. 303–304. – Режим доступу: <http://www.economy-confer.com.ua/full-article/3880/>.
10. «Сучасні напрями розвитку технологій виробництва харчових продуктів» та «Сучасні фізико-хімічні методи у виробництві харчових продуктів»: методичні вказівки до лабораторних робіт для студентів спеціальності 102 «Хімія» денної форми навчання / уклад. Ю. В. Менафова. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 24 с.

### References

1. Mykolenko, S.Yu., Zaharenko, A.A. (2021). Doslidzhennia vplyvu amarantovoho ta lnianoho boroshna na yakist pechyva [Effect of amaranth and flaxseed flour on cookies quality]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (1(19)), 228–240. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1\(19\)-228-240](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2020-1(19)-228-240).
2. Hryshchenko, A.M., Drobot, V.I. (2014). Tekhnolohichni vlastyvoli bezghliutenovykh vydiv syrovyny [Technological quality of gluten-free raw materials]. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnologii – Scientific works Odesa National Academy of Food Technologies*, 46(1), 161–166. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np\\_2014\\_46%281%29\\_40](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Np_2014_46%281%29_40).
3. Frolova, N.E., Tishchenko, O.M., Gubar, T.M., Kohut, D.O., Oatmeal, A.G. (2021). Rozshyrennia asortymentu strav iz polizernovoi sumishi vehetarianskoho menu dlia restoraniv ta aiurvedychnykh kafe [Expansion of assortment of dishes of polygrain mixture of vegetarian menu for restaurants and ayurvedic cafes]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky – Academic notes of TNU named after V. I. Vernadskyi. Series: Technical sciences*, 4(32(71)), 210–216. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.4/32>.
4. Borsolyuk L., Voitsekhivska L., Franko O., Shelkova T., Verbytskyi S.B. (2018). Obruntuvannia retseptur funktsionalnykh pashtetnykh produktiv, pryznachenykh dlia kharchuvannia ditei doshkilnoho ta shkilnoho viku [Substantiation of formulations of value added pate products, intended for nutrition of children of preschool and school age]. *Prodovolchi resursy: zb. nauk. pr. In-t prod. resursiv NAAN – Food resources: coll. of science Ave. Institute of Prod. resources of NAAS*, 10, 49–62. <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-06>.
5. Borsolyuk L., Voitsekhivska L., Lizova V., Verbytskyi S. (2017). Otsiniuvannia mozhyvosti ta dotsilnosti vykorystannia llianoho ta rysovoho boroshna u skladi funktsionalnykh pashtetnykh produktiv [Evaluation of possibility and expediency of use of flaxseed and rice flours in formulations of functional pate products]. *Zbirnyk tez IV Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Stan i perspektyvy kharchovoi nauky ta promyslovosti» – Collection of theses of the IV International Scientific and Technical Conference «State and Prospects of Food Science and Industry»* (pp. 124–126). Ternopilskyi natsionalnyi tekhnichniy universytet im. I. Puliuia. <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/22120>.
6. Paska M.Z., Masliichuk O.B. (2020). Funktsionalno-tekhnolohichni pokaznyky liupynovoho boroshna ta dyvosyly v konteksti vyrobnytstva miasnykh napivfabrykativ [Functional-technological indicators of lupino flour and divasil in the context of the meat semi-food production]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky – Academic notes of TNU named after V. I. Vernadskyi. Series: Technical sciences*, 2(31(70)), 136–142. <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2020.2-2/23>.
7. Choni, I.V., Sutkovych, T.Yu. (2015). Vykorystannia pryrodnykh stabilizatoriv u tekhnologii emulsiinoi produktsii [Use of natural stabilizers in technology emulsion products]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*, 1(73), 54–59. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett\\_n\\_2015\\_1\\_8](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett_n_2015_1_8).
8. Choni, I.V., Kovalenko, N.P. (2008). Rozrobka novoi emulsiinoi produktsii na osnovi roslynnoi syrovyny [Development of new emulsion products based on vegetable raw materials]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*, 1, 108–111. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett\\_n\\_2008\\_1\\_24](http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvpuett_n_2008_1_24).
9. Filinska, T.G., Shevchenko, V.V., Filinska, A.O. (2022). Pryrodni stabilizatory dlia nyzkozhyrnykh emulsiinykh produktiv [Natural stabilizers for low-fat emulsion products]. *Svit naukovykh doslidzhen. Vypusk 12: materialy Mizhnarodnoi multydystryplinarnoi naukovoï internet-konferentsii – The world of scientific research. Issue 12: Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific Internet Conference* (pp. 303–304). <http://www.economy-confer.com.ua/full-article/3880/>.
10. Mienafova, Yu.V. (2020). “Suchasni napriamy rozvytku tekhnologii vyrobnytstva kharchovykh produktiv» ta «Suchasni fizyko-khimichni metody u vyrobnytstvi kharchovykh produktiv”: metodychni vkazivky do laboratornykh robit dlia studentiv spetsialnosti 102 «Khimiia» dennoi formy navchannia / uklad [“Modern trends in the development of food production technologies” and “Modern physico-chemical methods in food production”: methodological instructions for laboratory work for students of the specialty 102 “Chemistry” full-time study (2020). DDMA.

Отримано 21.02.2023

**Tetiana Filinska<sup>1</sup>, Valeriia Shevchenko<sup>2</sup>, Antonina Filinska<sup>3</sup>,  
Sergii Pavliuk<sup>4</sup>, Iryna Sukha<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences,

Associate Professor of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products  
Ukrainian State Chemical and Technological University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [filinskaya@ukr.net](mailto:filinskaya@ukr.net)

<sup>2</sup>master student of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products  
Ukrainian State Chemical and Technological University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [Torch4488@gmail.com](mailto:Torch4488@gmail.com)

<sup>3</sup>senior lecturer of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products  
Ukrainian State Chemical and Technological University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [antoniyafilin@ukr.net](mailto:antoniyafilin@ukr.net)

<sup>4</sup>master student of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products  
Ukrainian State Chemical and Technological University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [serpik07@ukr.net](mailto:serpik07@ukr.net)

<sup>5</sup>PhD in Technical Sciences,

Associate Professor of the Department of Technologies of Natural and Synthetic Polymers, Fats and Food Products  
Ukrainian State Chemical and Technological University (Dnipro, Ukraine)

E-mail: [irinasuha3@gmail.com](mailto:irinasuha3@gmail.com)

## STUDY OF THE PROPERTIES OF MULTICOMPONENT FLOUR MIXTURES

*Flour is a component of many types of food products, such as bakery, pasta, confectionery, meat, fish emulsion products, sauces and low-calorie mayonnaise. The expansion of the range of flour products is accompanied by the introduction of flour blends into the recipe and their enrichment with useful nutrients. The article presents the results of research into the properties of various types of flour and their multicomponent mixtures. The indicator of moisture retention capacity was determined experimentally by the centrifugation method and calculated by the principle of additivity. It is possible to adjust this indicator by changing the number of individual components in mixtures containing different types of flour.*

*The use of blends of flour in the recipes of food products ensures the expansion of their assortment and enrichment with useful nutrients. Bread, pasta, confectionery, meat and fish emulsion products, sauces and low-calorie mayonnaises containing flour are complex systems. Important and relevant for such systems is the study of the properties of the constituent components and the study of their influence on the quality of finished products.*

*In the process of developing recipes for flour products and products that include different types of flour, it is necessary to take into account the indicators of both individual types of flour and their mixtures with different amounts of components in the system. It is also important to study the possibility of adjusting the properties of flour compositions by changing the number of individual components in their composition.*

*Analysis of research and publications showed that considerable attention is paid to the use of non-traditional flour raw materials in the production of food products. The conducted research mainly concerns the study of the properties of individual types of flour, which makes the urgent task of researching multicomponent mixtures of flour.*

*The purpose of the article is to study the properties of both individual types of flour and their multicomponent mixtures, establish the possibility of regulating such an indicator as moisture-retaining capacity for blends, as well as the formation of multicomponent flour mixtures with specified parameters.*

*In the work, indicators of the moisture-retaining capacity of various types of flour and their multicomponent mixtures are determined. Calculations of the moisture-retaining capacity of two-, three-, and four-component blends of flour were carried out according to the principle of additivity, taking into account the share of each component in the mixture. The results were obtained regarding the possibility of increasing the water-absorbing capacity of wheat flour by adding bran to it. The presented materials can be used to form blends of flour with the specified indicators of moisture retention capacity.*

**Keywords:** flour; multicomponent mixtures; properties; moisture retention capacity; functional products.

Fig.: 4. References: 10.

## РОЗДІЛ IV. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)-126-137

УДК 629.374.7

**Юрій Денисов<sup>1</sup>, Геннадій Болотов<sup>2</sup>, Євгеній Куц<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки»,  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [den711td@gmail.com](mailto:den711td@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2293-7964>  
ResearcherID: [G-1144-2016](https://orcid.org/0000-0003-2293-7964). Scopus Author ID: [56338219200](https://orcid.org/0000-0003-2293-7964)

<sup>2</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри «Технологій зварювання та будівництва»  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [bolotovgp@gmail.com](mailto:bolotovgp@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0305-2917>  
ResearcherID: [H-5304-2014](https://orcid.org/0000-0003-0305-2917). Scopus Author ID: [6506157907](https://orcid.org/0000-0003-0305-2917)

<sup>3</sup>аспірант кафедри «Електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки»  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [fharse@gmail.com](mailto:fharse@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8062-0602>  
ResearcherID: [K-4380-2018](https://orcid.org/0000-0001-8062-0602). Scopus Author ID: [57211998151](https://orcid.org/0000-0001-8062-0602)

### ОДНОКРАТНО ІНТЕГРУЮЧА СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПОСТІЙНОГО СТРУМУ ДЛЯ ЗАПУСКУ ГАЗОТУРБІННОГО ДВИГУНА ВЕРТОЛЬОТА

Для запуску газотурбінного двигуна вертольота запропонована однократно інтегруюча система електропривода із задатчком інтенсивності. За результатами її аналізу отримані закономірності зміни похідної струму бортового акумулятора від параметра налаштування пропорційного регулятора контуру швидкості та залежності її максимального значення від цього параметра. Для забезпечення плавного зростання струму запропоновано дискретно змінювати в процесі запуску його значення. Аналіз перехідної характеристики за струмом показав, що зміна величини параметра налаштування пропорційного регулятора контуру швидкості дозволяє отримати більше плавне, ніж при налаштуванні на модульний оптимум, зростання струму без перерегулювання, що сприяє збільшенню часу використання енергетичного ресурсу акумулятора.

**Ключові слова:** задатчик інтенсивності; передавальна функція; похідна струму; дискретний регулятор; перехідна характеристика; модифіковане z-перетворення.

Рис.: 5. Бібл.: 8.

**Постановка проблеми.** Запуск газотурбінного двигуна (далі – ГТД) вертольота відбувається за програмою, що реалізується впродовж десятків секунд. Процес запуску включає в себе попередню розкрутку ротора турбокомпресора електродвигуном до початку подачі палива та його загоряння. Потім розкрутка ротора продовжується сумісно електродвигуном і турбіною на ділянці обмеженої подачі палива до камери згоряння до вступу в роботу автомата приймальності. Після цього ротор продовжує розкручуватися турбіною без зовнішнього приводу з виходом ГТД на режим “малого газу”, а електродвигун переводиться в режим генератора, що живить бортову мережу вертольота. Очевидно, що електропривод системи запуску ГТД працює в обмеженому часовому інтервалі, відпрацьовуючи програму встановлення заданої швидкості.

Пусковий режим роботи електроприводу ускладнює виконання вимог забезпечення оптимального співвідношення між взаємно залежними динамічними й енергетичними характеристиками, з урахуванням обмеженої потужності джерела живлення (акумулятора).

Існує проблема розробки систем запуску ГТД вертольотів, у яких враховано вплив на їхні енергодинамічні характеристики особливостей джерела живлення обмеженої потужності (бортового акумулятора) і пускового режиму роботи електропривода.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У процесі створення системи запуску ГТД вертольота основну увагу приділяють вибору електродвигуна та конструюванню блоків управління стартер–генератором [1; 2]. Аналіз сучасного стану систем запуску ГТД вертольотів, який наведено в [3] і [4], показав, що існуючі системи запуску ГТД вертольотів виконуються за одноконтурними схемами з пропорційно-інтегрально-диференційним регулятором, у яких контролюється лише один параметр – швидкість [4]. У таких системах ефективно вирішення вищезазначених проблемних питань неможливе.

**Метою цієї роботи** є розробка системи запуску ГТД вертольота, у якій здійснюється взаємопов'язаний контроль параметрів струму, що споживається від акумулятора, і процесу встановлення швидкості, що дозволяє збільшити час використання енергетичного ресурсу бортового акумулятора.

**Основний розділ. 1. Структурна схема системи запуску ГТД вертольота.** Мету, що поставлена, пропонується реалізувати в системі електропривода з контурами струму і швидкості, який повинен бути головним. Особливість системи полягає в тому, що вона повинна відпрацювати завдання за швидкістю при постійному навантаженні. Необхідність високоточної стабілізації швидкості, що відповідає режиму «малого газу», тут відсутня, тому система запуску ГТД вертольота може бути астатичною за струмом і статичною за швидкістю. Такі двоконтурні системи належать до однократно інтегруючих. Вони містять пропорційно-інтегральний регулятор у контурі струму і пропорційний регулятор в контурі швидкості. Програму запуску ГТД реалізує задатчик інтенсивності, який формує сигнал завдання на вході контуру швидкості. Його зображення:

$$U_3(p) = \frac{\Delta U_3}{p \cdot \Delta T},$$

де  $\Delta U_3$  – прирощення завдання за швидкістю в процесі запуску;  $\Delta T$  – час, протягом якого напруга завдання змінюється на величину  $\Delta U_3$ . Темп зміни сигналу на виході датчика інтенсивності постійний і незалежний від величини сигналу на вході.

Структурна схема однократно інтегруючої системи запуску представлена на рис. 1.

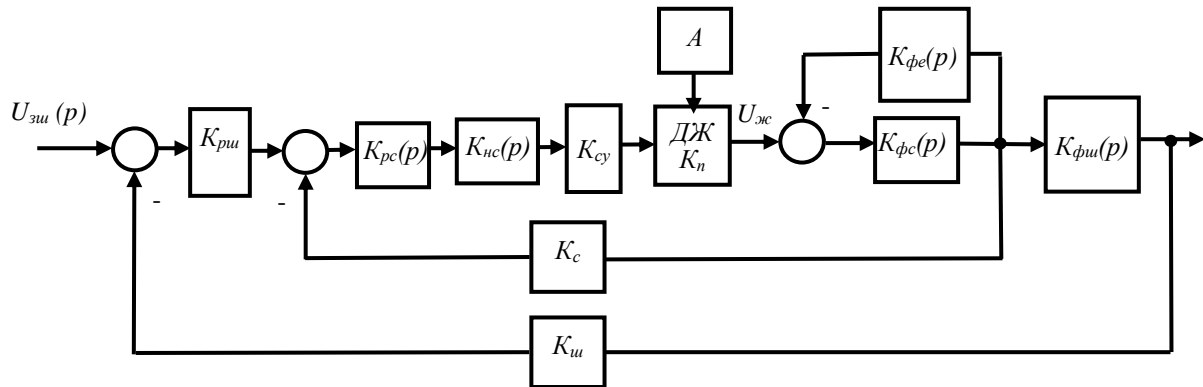


Рис. 1. Структурна схема однократно інтегруючої системи запуску

На схемі, рис. 1:  $A$  – акумулятор,  $ДЖ$  – джерело живлення електродвигуна постійного струму, у ролі якого доцільно використовувати вентильний двигун із постійними магнітами. Джерело живлення електродвигуна являє собою квазірезонансний імпульсний перетворювач, який перемикається при нульовому струмі, що мінімізує втрати потужності на його силовому ключі. Частота роботи такого джерела живлення знаходиться в діапазоні десятків-сотень кілогерц, тому коефіцієнт його передачі  $K_n$  слабо залежить від пульсації вихідної напруги, і його можна вважати незмінним. Також на схемі  $K_c, K_{ш}$  – коефіцієнти передачі датчиків струму і швидкості;

$$K_{рс}(p) = \frac{R_e(pT_e + 1)}{pT_c K_n K_c K_{сy}}$$

- передавальна функція регулятора струму, де  $R_e$  – активний опір

обмотки двигуна,  $T_e$  – електромагнітна стала,  $T_c$  – стала інтегрування струму,  $K_{сy}$  – коефіцієнт передачі системи управління;  $K_{рш}$  – коефіцієнт передачі регулятора швидкості;

$$K_{нс}(p) = \frac{1}{pT_{\mu} + 1}, K_{фе}(p) = \frac{R_e}{pT_m}, K_{фс}(p) = \frac{1}{R_e(pT_e + 1)}, K_{фш}(p) = \frac{R_e}{pT_m C_e \Phi}$$

– передавальні функції таких ланок структурної схеми: некомпенсованої та формування: проти-е.р.с., струму, швидкості відповідно, де  $T_\mu, T_m$  – некомпенсована й електро механічна сталі  $C_e$  – конструктивна постійна двигуна  $\Phi$  – потік збудження.

Перетворимо структурну схему (рис. 1) в одноконтурну структурну схему (рис. 2). У процесі перетворення, з урахуванням налаштування контуру струму на модульний оптимум, складову  $\frac{p^2 T_c^2}{2}$  не враховуємо внаслідок її незначущості, оскільки  $T_c = 2T_\mu$ , а величина  $T_\mu$  повинна відповідати не більш ніж двом періодам комутації ДЖ. Вплив проти-е.р.с. електродвигуна також не враховуємо.

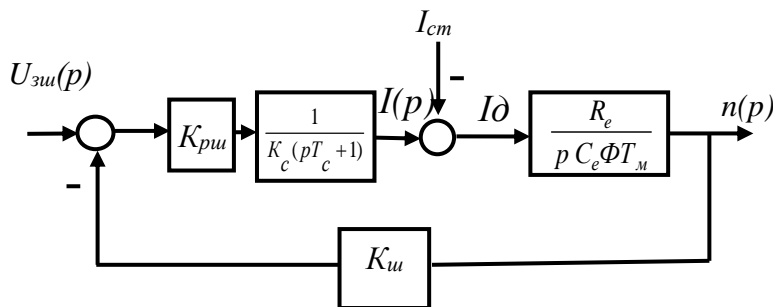


Рис. 2. Одноконтурна структурна схема

На схемі рис. 2:  $I_{cm}$  – струм статичного навантаження. Коефіцієнт передачі регулятора контуру швидкості [5]:

$$K_{pu} = \frac{T_m K_c C_e \Phi}{a_u T_c K_u R_e}, \tag{1}$$

де  $a_u$  – параметр його налаштування.

Процесом наростання швидкості електропривода ГТД керує задатчик інтенсивності з часовим інтервалом  $\Delta T$ , упродовж якого напруга завдання збільшується на  $\Delta U_z = K_u \Delta n$ , де  $\Delta n$  – статизм за швидкістю. З рис. 2 видно, що його зображення:

$$\Delta n(p) = \frac{I_{cm} K_c (pT_c + 1) R_e}{p C_e \Phi T_m K_c (pT_c + 1) + R_e K_{pu} K_u}. \tag{2}$$

В усталеному режимі ( $p=0$ ) статизм за швидкістю з урахуванням (1):

$$\Delta n = I_{cm} \frac{T_c a_u R_e}{T_m C_e \Phi}. \text{ Враховуючи значення } T_m = J \frac{R_e \pi}{C_m C_e \Phi^2 \cdot 30}, \quad I_{cm} = \frac{M_c}{C_m \Phi}, \text{ де}$$

$M_c$  - статичний момент опору навантаження, отримуємо:  $\Delta n = M_c \frac{a_u T_c}{B}$ , де  $B = J \frac{\pi}{30}$ ,

$J$  - момент інерції електроприводу системи запуску. Очевидно, що  $\Delta n = const$ , оскільки  $M_c = const$ . Його створює ротор турбокомпресора. Величина часового кроку задатчика

швидкості  $\Delta T = \frac{\Delta n}{M_\delta}$ , де  $M_\delta = C_m \Phi I_\delta$  - динамічний момент, що розвивається

електродвигуном,  $I_\delta$  - його динамічний струм  $C_m$  – конструктивна постійна двигуна. З урахуванням значень  $\Delta t, \Delta n, M_\delta$  знаходимо, що:

$$U_z(p) = \frac{C_m \Phi K_c I_\delta}{p \cdot B}. \tag{3}$$



Вираз (3) встановлює зв'язок між напругою на виході задатчика швидкості й динамічним струмом електродвигуна, який є усталеним значенням унаслідок дії сигналу на вході системи, що формує задатчик інтенсивності. Його величина залежить від темпу зміни вихідної напруги задатчика інтенсивності. Система запуску підтримує динамічний струм постійним, що забезпечує незалежність прискорення двигуна від статичного навантаження. Враховуючи, що струм статичного навантаження  $I_{cm} = const$ , зі схеми рис. 2 знаходимо зображення струму електродвигуна:

$$I(p) = U_3(p) \cdot W_{zc}(p),$$

де  $W_{zc}(p) = \frac{pK_{pu}C_e\Phi T_m}{pC_e\Phi T_m K_c(pT_c + 1) + K_{pu}K_u R_e}$  - передавальна функція замкненої структури (рис. 2) за струмом.

З урахуванням вищенаведених значень  $U_3(p)$ ,  $K_{pu}$ ,  $T_m$  маємо:

$$I(p) = \frac{I_0}{a_{uu}T_c^2(p-p_1)(p-p_2)(p-p_3)}, \quad (4)$$

де  $p_1 = 0$ ;  $p_{2,3} = -\frac{1}{2T_c} \pm \frac{1}{2T_c} \sqrt{1 - \frac{4}{a_{uu}}}$  - корені характеристичного рівняння.

Оригінал струму:

$$i(t) = \frac{1}{a_{uu}T_c^2} (A_1 e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} + A_3 e^{p_3 t}),$$

де  $A_1 \div A_3$  - відрахування для коренів характеристичного рівняння, вони мають різні значення для можливих режимів роботи, які задаються вибором величини параметра налаштування пропорційного регулятора контуру швидкості  $a_{uu}$ , що є особливістю однократно інтегруючих систем..

Розглянемо можливість задоволення вимог динаміки та енергетики в різних режимах роботи електроприводу.

А) Коливальний режим.

Струм електродвигуна:

$$i(t) = I_0 \left[ 1 - \frac{2e^{-mt}}{\sqrt{4-a_{uu}}} \sin(\omega t + \psi) \right], \quad (5)$$

де величина динамічного струму електродвигуна  $I_0$  при його розгоні й гальмуванні залежить від темпу зміни вихідної напруги задатчика інтенсивності. У цих режимах система регулювання підтримує динамічний струм постійним, що створює умови для збільшення часу витрати енергетичного ресурсу акумулятора.

У результаті диференціювання (5) отримуємо:

$$\frac{d\bar{i}}{d\bar{t}} = \frac{2e^{-m\bar{t}}}{\sqrt{4-a_{uu}}} \left[ \sin(\omega\bar{t} + \psi) - \sqrt{\frac{4-a_{uu}}{a_{uu}}} \cos(\omega\bar{t} + \psi) \right], \quad (6)$$

де  $\bar{i} = \frac{i}{I_0}$ ,  $\bar{t} = \frac{t}{T_c}$ .

Б) Аперіодичний режим.

Відповідає значенню параметра налаштування регулятора  $a_{uu} > 4$ . У цьому режимі відносна похідна струму:

$$\frac{d\bar{i}}{dt} = \frac{e^{p_2 t} - e^{p_3 t}}{a_{uu} \sqrt{1 - \frac{4}{a_{uu}}}} \quad (7)$$

Граничний режим відповідає значенням  $a_{uu} = 4$ ,  $b = 0$ , тому для цього режиму відносна похідна струму:

$$\frac{d\bar{i}}{dt} = 0,5e^{-\frac{t}{T_c}} \quad (8)$$

Згідно з (6)-(8), для  $T_\mu = T = 10^{-4} c$ , де  $T$  – період роботи імпульсного перетворювача;  $m = 2500 \frac{1}{c}$ ,  $T_c = 2 \cdot 10^{-4} c$  розраховано закономірності зміни відносної похідної струму для різних режимів роботи. Результати розрахунку представлено на рис. 3, а, де криві 1÷3 зі значеннями  $a_{uu} = (1 \div 3)$  відповідно належать до коливального режиму, для граничного режиму справедлива крива 4 ( $a_{uu} = 4$ ), а для аперіодичного - крива 5 ( $a_{uu} = 5$ ).

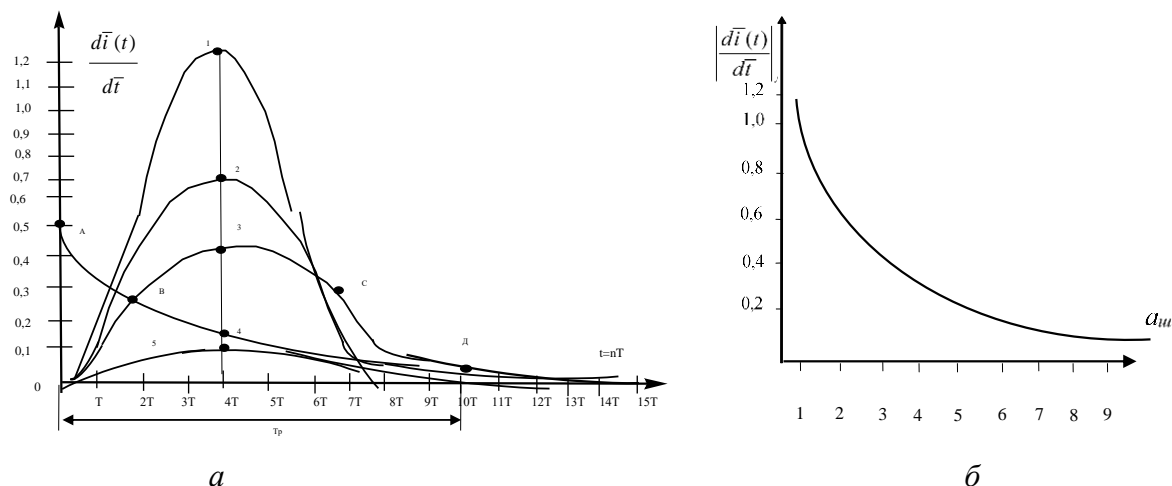


Рис. 3. Закономірності зміни відносної похідної струму та напруги

З рис. 3, а видно, що максимальні значення похідної струму для коливального і аперіодичного режимів відповідають часу  $t = 4T$ . Для цього моменту часу на рисунку 3 б побудовані залежності максимальних значень відносної похідної струму від величини параметра налаштування пропорційного регулятора контуру швидкості  $\left| \frac{d\bar{i}(t)}{d\bar{t}} \right|_{\max} = f(a_{uu})$ . З рис. 3, б видно, що максимальне значення відносної похідної струму зі збільшенням параметра налаштування  $a_{uu}$  знижується, а час встановлення перехідного процесу, як видно з рис. 3, а, зростає. Оптимальне співвідношення між часом перехідного процесу і швидкістю його наростання відповідає налаштуванню регулятора на модульний оптимум ( $a_{uu} = 2$ , крива 2, рис. 3 а).

Налаштування процесів на модульний оптимум знаходить широке застосування в електроприводах постійного струму, які живляться від мережі – джерело нескінченно великої потужності. Тому тут не виникає проблем з часом використання енергетичного ресурсу. Обмеження похідної струму двигуна в таких системах відбувається за рахунок включення фільтра на вході регулятора, або включення задатчика інтенсивності на вході

регулятора, швидкості, чи включення його на вході регулятора струму [6]. При цьому закон зміни струму за часом відповідає оптимальній за модулем перехідній характеристиці з перерегулюванням 4,35 %.

Реалізація існуючих засобів обмеження похідної струму двигуна прив'язана до аналогової елементної бази, яка має невисоку стійкість стосовно електромагнітних завад. Висока захищеність систем управління бортової авіаційної техніки від радіозавад є однією з головних вимог. На борту вертольота електропривід системи запуску ГТД живиться від джерела обмеженої потужності – акумулятора. На тривалість застосування його енергетичного ресурсу впливають кидки струму навантаження та зміни його похідної в процесі запуску ГТД. Тому тут необхідно забезпечити більш плавне, ніж при налаштуванні регулятора контура швидкості на модульний оптимум, зростання струму, що відбирається від акумулятора, без перерегулювання. Такі вимоги можна задовільнити за рахунок включення до складу системи дискретного регулятора швидкості зі змінним коефіцієнтом підсилення, що дозволяє реалізувати кінцевий за часом процес без перерегулювання з виконанням вимог до завадостійкості. З рис. 3, *a* видно, що мінімальні значення відносної похідної струму відповідають аперіодичному режиму, крива 5, проте в цьому режимі перехідний процес є найбільш тривалим. Компроміс між швидкістю і значенням похідної струму можливо забезпечити за рахунок перебудови параметра налаштування пропорційного регулятора контуру швидкості.

Для цього неперервний пропорційний регулятор контуру швидкості пропонується замінити дискретною ланкою зі ступінчастим вихідним сигналом, період роботи якого  $T_p$ . Висота кожної сходинки напруги на виході регулятора визначається параметром його налаштування на відповідному часовому інтервалі, кількість яких можна встановити згідно з рис. 3, *a*.

З метою виконання вище поставлених вимог до електроприводу ГТД, як видно з рис. 3, *a*, формування перехідної характеристики за струмом доцільно починати на граничному режимі ( $a_{\text{ш}} = 4$ ), за траєкторією АВ, протягом часу  $0 \leq t \leq 2T$ , а потім перейти на слабко коливальний режим ( $a_{\text{ш}} = 3$ ) протягом часу  $2T \leq t \leq 7T$ , за траєкторією ВС. Завершити запуск доцільно у коливальному режимі ( $a_{\text{ш}} = 2$ ) з виконанням модульного оптимуму протягом часу  $7T \leq t \leq T_p$  за траєкторією CD.

Запропонований спосіб обмеження похідної струму двигуна досить просто реалізується на базі програмованого таймера. Регулятор швидкості являє собою конвеєрну структуру, значення коефіцієнтів налагодження в якій змінюється відповідно часовим інтервалам на періоді  $T_p$ . Їх кількість на періоді може бути як завгодно великою, що забезпечить плавну зміну похідної струму в процесі її обмеження, без перерегулювання. Можливо також і традиційне рішення з виконанням задатчика інтенсивності зі змінним коефіцієнтом підсилення на базі мікропроцесора, але цей варіант буде складнішим у реалізації, ніж запропонований.

**2. Аналіз перехідної характеристики системи запуску ГТД за струмом із дискретним регулятором контуру швидкості.** Дискретний пропорційний регулятор представлено на рис. 4, *a* сукупністю імпульсного елемента (ІЕ) та формуючого елемента (ФЕ), вихідний сигнал якого ( $U_{\text{фе}}(t)$ ) представлено на рис. 4, *б*.

$$\text{Параметри регулятора: } K_{\text{пу1}} = \frac{K_{\text{р0}}}{4}, K_{\text{пу2}} = \frac{K_{\text{р0}}}{3}, K_{\text{пу3}} = \frac{K_{\text{р0}}}{2}, K_{\text{р0}} = \frac{T_{\text{м}} C_{\text{е}} \Phi K_{\text{с}}}{T_{\text{с}} K_{\text{ш}} R_{\text{я}}} \quad (9),$$

$t_1 = 2T; t_2 = 7T, T_p = 10T$  - період роботи.

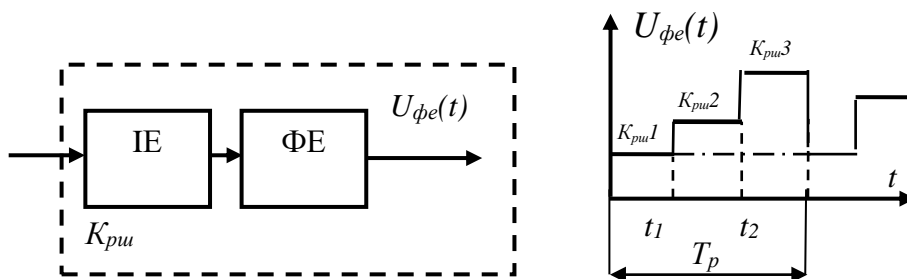


Рис. 4. Дискретний пропорційний регулятор та його вихідний сигнал

Представимо вихідний сигнал формуючого елемента набором ступінчастих функцій:

$$U_{\phi e}(t) = K_{ру1} [1(t) - 1(t - t_1)] + K_{ру2} [1(t - t_1) - 1(t - t_2)] + K_{ру3} [1(t - t_2) - 1(t - T_p)].$$

Зображення вихідного сигналу формуючого елемента:

$$K_{\phi}(p) = K_{p0} \frac{K_1 + K_2 e^{-pt_1} + K_3 e^{-pt_2} - K_4 e^{-pT_p}}{p},$$

де  $K_1 = 0,25$ ;  $K_2 = 0,0833$ ;  $K_3 = 0,166$ ;  $K_4 = 0,5$ .

Передавальна функція ланки формування струму з дискретним регулятором контуру швидкості:  $K_c(p) = \frac{K_{\phi}(p)}{K_c(pT_c + 1)}$ . При заміні  $p = \frac{q}{T_p}$ , використовуючи теорему розкладання, з врахуванням  $K_{\phi}(p)$ , отримуємо:

$$K_c(q) = \frac{K_{p0}}{K_c} (K_1 + K_2 e^{-q\gamma_1} + K_3 e^{-q\gamma_2} - K_4 e^{-q}) \left( \frac{1}{q} - \frac{1}{q + \alpha} \right),$$

де  $\gamma_1 = \frac{t_1}{T_p}$ ;  $\gamma_2 = \frac{t_2}{T_p}$ ;  $\alpha = \frac{T_p}{T_c}$ .

Дискретна передавальна функція ланки формування струму:  $W_c^*(z, \varepsilon) = z_m \{K_c(q)\}$ . У результаті модифікованого  $z$ -перетворення отримуємо:

$$W_c^*(z, \varepsilon) = \frac{K_{p0}}{2K_c} \left[ \frac{M_1^*(z, \varepsilon)}{z - 1} - \frac{M_2^*(z, \varepsilon)}{z - e^{-\alpha}} \right], \tag{10}$$

де  $M_1^*(z, \varepsilon) = 2[za_{11}(\varepsilon) + b_{11}(\varepsilon)]$ ;  $M_2^*(z, \varepsilon) = 2[za_{21}(\varepsilon) + b_{21}(\varepsilon)]$ .

Коефіцієнти багаточленів  $M_1^*(z, \varepsilon)$ ,  $M_2^*(z, \varepsilon)$  прийматимуть різні значення на інтервалах зміни відносного часу  $\varepsilon = \frac{\Delta t}{T_p}$ .

Для  $0 \leq \varepsilon \leq \gamma_1$ :

$$a_{11}(\varepsilon) = K_1; b_{11}(\varepsilon) = K_2 + K_3 - K_4; a_{21}(\varepsilon) = K_1 e^{-\alpha\varepsilon}; b_{21}(\varepsilon) = e^{-\alpha\varepsilon} [K_2 e^{-\alpha(1-\gamma_1)} + K_3 e^{-\alpha(1-\gamma_2)} - K_4].$$

Для  $\gamma_1 \leq \varepsilon \leq \gamma_2$ :

$$a_{11}(\varepsilon) = K_1 + K_2; b_{11}(\varepsilon) = K_3 - K_4; a_{21}(\varepsilon) = e^{-\alpha\varepsilon} (K_1 + K_2 e^{-\alpha\gamma_1}); b_{21}(\varepsilon) = e^{-\alpha\varepsilon} (K_3 e^{-\alpha(1-\gamma_2)} - K_4).$$

Для  $\gamma_2 \leq \varepsilon \leq 1$ :

$$a_{11}(\varepsilon) = K_1 + K_2 + K_3; b_{11}(\varepsilon) = -K_4; a_{21}(\varepsilon) = e^{-\alpha\varepsilon} (K_1 + K_2 e^{\alpha\gamma_1} + K_3 e^{\alpha\gamma_2}); b_{21}(\varepsilon) = -K_4 e^{-\alpha\varepsilon}.$$

Передавальна функція приведеної неперервної частини структурної схеми, рис. 2, з дискретним регулятором контуру швидкості:

$$K_{nnч}(p) = \frac{K_{p0}}{K_c} \cdot \frac{K_1 + K_2 e^{-pT_1} + K_3 e^{-pT_2} - K_4 e^{-pT_p}}{p^2(pT_c + 1)C_e \Phi T_M} R_e K_{uu} \quad (11)$$

Замінивши  $p = \frac{q}{T_p}$ , на підставі теореми розкладання маємо:

$$K_{nnч}(q) = \frac{K_{p0}}{K_c} (K_1 + K_2 e^{-\gamma_1 q} + K_3 e^{-\gamma_2 q} - K_4 e^{-q}) \cdot \left( \frac{B_1}{q^2} + \frac{B_2}{q} + \frac{B_3}{q + \alpha} \right),$$

де  $B_1 = \frac{1}{\alpha}$ ,  $B_2 = -\frac{1}{\alpha^2}$ ,  $B_3 = \frac{1}{\alpha^2}$ .

Дискретна передавальна функція розімкненої системи (рис. 2) з дискретним регулятором контуру швидкості:

$$W_p^*(z, \varepsilon) = z_M \{K_{nnч}(q)\}.$$

У результаті модифікованого  $z$ -перетворення отримуємо:

$$W_p^*(z, \varepsilon) = \alpha^2 \left[ \frac{F_1^*(z, \varepsilon)}{(z-1)^2} + \frac{F_2^*(z, \varepsilon)}{z-1} + \frac{F_3^*(z, \varepsilon)}{z-e^{-\alpha}} \right], \quad (12)$$

де  $F_1^*(z, \varepsilon) = 2[z c_{11}(\varepsilon) + d_{11}(\varepsilon)]$ ;  $F_2^*(z, \varepsilon) = 2[z c_{21}(\varepsilon) + d_{21}(\varepsilon)]$ ;  $F_3^*(z, \varepsilon) = 2[z c_{31}(\varepsilon) + d_{31}(\varepsilon)]$ .

Для  $0 \leq \varepsilon \leq \gamma_1$ :

$$c_{11}(\varepsilon) = B_1 K_1; \quad d_{11}(\varepsilon) = B_1 (K_2 + K_3 - K_4);$$

$$c_{21}(\varepsilon) = (B_1 \varepsilon + B_2) K_1; \quad d_{21}(\varepsilon) = (B_1 \varepsilon + B_2) (K_2 + K_3 - K_4);$$

$$c_{31}(\varepsilon) = B_3 K_1 e^{-\alpha \varepsilon}; \quad d_{31}(\varepsilon) = B_3 e^{-\alpha \varepsilon} [K_2 e^{-\alpha(1-\gamma_1)} + K_3 e^{-\alpha(1-\gamma_2)} - K_4].$$

Для  $\gamma_1 \leq \varepsilon \leq \gamma_2$ :

$$c_{11}(\varepsilon) = B_1 (K_1 + K_2); \quad d_{11}(\varepsilon) = B_1 (K_3 - K_4);$$

$$c_{21}(\varepsilon) = (B_1 \varepsilon + B_2) (K_1 + K_2); \quad d_{21}(\varepsilon) = (B_1 \varepsilon + B_2) (K_3 - K_4);$$

$$c_{31}(\varepsilon) = B_3 e^{-\alpha \varepsilon} (K_1 + K_2 e^{\alpha \gamma_1}); \quad d_{31}(\varepsilon) = B_3 e^{-\alpha \varepsilon} [K_3 e^{-\alpha(1-\gamma_2)} - K_4].$$

Для  $\gamma_2 \leq \varepsilon \leq 1$ :

$$c_{11}(\varepsilon) = B_1 (K_1 + K_2 + K_3); \quad d_{11}(\varepsilon) = -B_1 K_4;$$

$$c_{21}(\varepsilon) = (B_1 \varepsilon + B_2) (K_1 + K_2 + K_3); \quad d_{21}(\varepsilon) = -K_4 (B_1 \varepsilon + B_2);$$

$$c_{31}(\varepsilon) = B_3 e^{-\alpha \varepsilon} (K_1 + K_2 e^{\alpha \gamma_1} + K_3 e^{\alpha \gamma_2}); \quad d_{31}(\varepsilon) = -B_3 e^{-\alpha \varepsilon} K_4.$$

Дискретна передавальна функція замкненої системи, рис. 2, за струмом, з дискретним регулятором контуру швидкості:

$$W_{zc}^*(z, \varepsilon) = \frac{W_c^*(z, \varepsilon)}{1 + W_p^*(z, -0)},$$

де  $W_p^*(z, -0) = z^{-1} \cdot W_p^*(z, 1)$  можна знайти з (12) для  $\varepsilon = 1$ .

З урахуванням (10), (12) отримуємо:

$$W_{zc}^*(z, \varepsilon) = \frac{K_{p0}}{2K_c} \times \frac{[M_1^*(z, \varepsilon)(z - e^{-\alpha}) - M_2^*(z, \varepsilon)(z - 1)]z(z - 1)}{z(z - 1)^2(z - e^{-\alpha}) + \alpha^2 [F_1^*(z, 1)(z - e^{-\alpha}) + F_2^*(z, 1)(z - e^{-\alpha})(z - 1) + F_3^*(z, 1)(z - 1)^2]} \quad (13)$$

Перехідна характеристика замкненої системи за струмом є реакцією на стрибок завдання на вході задатчика інтенсивності. Її  $z$ -зображення:

$$I^*(z, \varepsilon) = U_3^*(z) \cdot W_{zc}^*(z, \varepsilon), \quad (14)$$

У (14) з урахуванням (3):  $U_3^*(z) = \Delta U_3 \cdot \frac{z}{z - 1}$ , де  $\Delta U_3 = \frac{C_M \Phi K_c I_d}{B}$ ,

Тому

$$I^*(z, \varepsilon) = \Delta U_3 \cdot \frac{z}{z - 1} \cdot \frac{K_{p0}}{2K_c} \cdot W_{zc}^*(z, \varepsilon). \quad (15)$$

Розділивши обидві частини (15), на  $\frac{\Delta U_3 K_{p0}}{K_c}$  і враховуючи (13), отримаємо  $z$ -зображення перехідної характеристики за відносним струмом:

$$\bar{I}^*(z, \varepsilon) = \frac{E_4(\varepsilon)z^4 + E_3(\varepsilon)z^3 + E_2(\varepsilon)z^2}{D_4(1)z^4 + D_3(1)z^3 + D_2(1)z^2 + D_1(1)z + D_0(1)}, \quad (16)$$

де

$$E_4(\varepsilon) = 2[a_{11}(\varepsilon) - a_{21}(\varepsilon)];$$

$$E_3(\varepsilon) = 2[b_{11}(\varepsilon) - e^{-\alpha}a_{11}(\varepsilon) - b_{21}(\varepsilon) + a_{21}(\varepsilon)];$$

$$E_2(\varepsilon) = 2[b_{21}(\varepsilon) - e^{-\alpha}b_{11}(\varepsilon)];$$

$$D_4(1) = 1;$$

$$D_3(1) = 2[c_{21}(1) + c_{31}(1) - 2 - e^{-\alpha}];$$

$$D_2(1) = 2[1 + 2e^{-\alpha} + c_{11}(1) - c_{21}(1)(1 + e^{-\alpha}) + d_{11}(1) - 2c_{31}(1) - d_{21}(1)];$$

$$D_1(1) = 2[e^{-\alpha}(c_{21}(1) - c_{11}(1) - 1) - d_{21}(1)(1 + e^{-\alpha}) + d_{11}(1) + c_{31}(1) - 2d_{31}(1)];$$

$$D_0(1) = 2[d_{31}(1) + e^{-\alpha}(d_{21}(1) - e^{-\alpha}d_{11}(1))],$$

де коефіцієнти  $c(1)$ ,  $d(1)$  відповідають їх значенням для  $\varepsilon = 1$ .

З (16) видно, що  $z$ -зображення відносного струму  $\bar{I}^*(z, \varepsilon)$  на відповідних часових інтервалах визначається величинами коефіцієнтів  $a, b, c, d$ , які залежать лише від одного

параметра  $\alpha = \frac{T_p}{T_c}$ , де стала інтегрування регулятора контуру струму  $T_c = 2T$ . Для

забезпечення високої швидкодії період роботи дискретного регулятора  $T_p$  повинен відповідати часу перехідного процесу при його налаштуванні на модульний оптимум, який зазвичай не перевищує десять некомпенсованих сталих.

Оригінал перехідної характеристики системи запуску за струмом знайдено за допомогою методу розкладання  $z$ -зображення в ступеневий ряд [7] відповідно до рекурентного співвідношення:

$$\bar{I}^* [s+l-k, \varepsilon] = \frac{1}{D_l} \left\{ E_{k-s}(\varepsilon) - \sum_{i=0}^{s-1} \bar{I}^* [i+l-k, \varepsilon] D_{l-s+i} \right\}, \quad (17)$$

де  $l=k=4$  - порядок знаменника (16), який дорівнює порядку чисельника,  $s=0,1,2,\dots$  - номер періоду роботи регулятора,  $\varepsilon = \frac{t}{T_p}$  - відносний час.

На рисунку 5 крива 1 - результат розрахунку перехідної характеристики згідно (17), для  $T_m = T = 10^{-4} c$ ,  $T_c = 2T$ ,  $T_p = 10T$ ,  $\alpha = 5$ . Крива 2, з перегулюванням 4,3 % яку розраховано за (5) для  $a_u = 2$ , відповідає налаштуванню неперервного регулятора контуру швидкості на модульний оптимум. З рис. 5 видно, що перехідна характеристика системи запуску ГТД вертольота з дискретним пропорційним регулятором (крива 1) відрізняється від аналогічної характеристики з неперервним регулятором (крива 2) відсутністю перегулювання і більш плавним характером наростання струму, при однаковій швидкодії. Реально ж під впливом пульсації джерела живлення перегулювання перехідної характеристики контуру струму який налаштований на модульний оптимум, становить 25 % [8]. Дискретний регулятор дозволяє реалізувати процеси кінцевої тривалості без перегулювання і при наявності пульсації джерела живлення. Відмічені особливості перехідної характеристики дозволяють збільшити час використання енергетичного ресурсу бортового акумулятора.

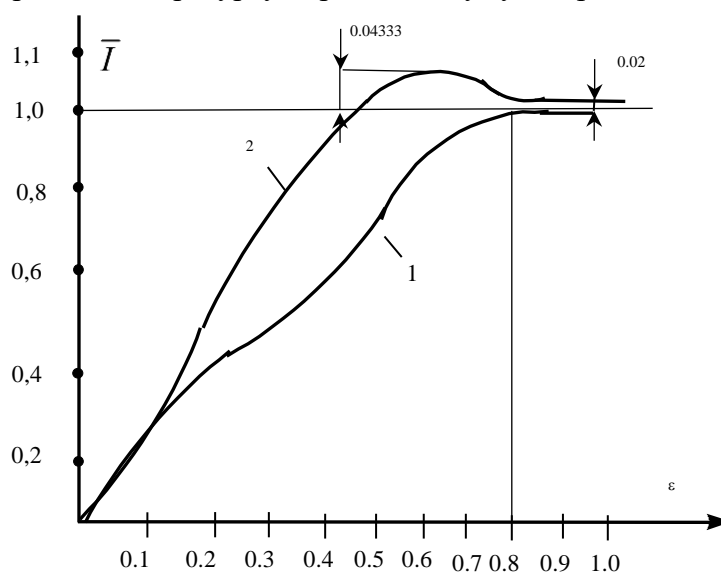


Рис. 5. Перехідні характеристики системи запуску двигуна вертольота

### Висновки.

1. Показано, що мети, яка поставлена в роботі, можна досягти, якщо електропривід системи запуску ГТД вертольота виконати за однократноінтегруючою схемою з задатчиком інтенсивності. У такій системі можна реалізувати взаємопов'язаний контроль закону встановлення швидкості ротора турбокомпресора і параметрів струму, що відбирається від бортового акумулятора. Наслідком цього є збільшення часу використання його енергетичного ресурсу.

2. З рис. 3, а видно, що час витрачання енергетичного ресурсу акумулятора можливо збільшити за рахунок зниження перепадів похідної перехідної характеристики за струмом. Для цього її початкову ділянку необхідно формувати в граничному режимі, а наступний – в слабоколивальному. На завершальній ділянці перехідна характеристика повинна відповідати налаштуванню регулятора контуру швидкості на модульний оптимум.

3. Формувати перехідну характеристику за струмом із мінімальними перепадами її похідної запропоновано за допомогою дискретного регулювання параметра налаштування пропорційного регулятора контуру швидкості, що підтверджують результати розрахунків перехідної характеристики за струмом на заданих трьох інтервалах часу. Їх збільшення дозволяє підвищити рівномірність темпу зміни похідної струму.

#### Список використаних джерел

1. Newell R. Electric motor efficiency depends upon power factor. Part 1 [Electronic resource] / Richard Newell // Eetimes. – Accessed mode: <https://www.eetimes.com/electric-motor-efficiency-depends-upon-power-factor-part-1>.
2. Chau K. T. *Chaos in Electric Drive Systems: Analysis Control and Applications* / K. T. Chau z. Wang, John Wiley, S. Sons. – Pte Ltd, 2011. – 318 p.
3. Денисов А. И. Совершенствование систем бортового электропитания и запуска газотурбинных двигателей вертолетов / А. И. Денисов, Е. А. Бурсала, К. В. Башинский // Системы озброєння і військової техніки. – 2016. – № 4(48). – С. 98-103.
4. Цалимов Г. Ф. Разработка электронных блоков управления стартер-генераторами для систем запуска авиационных двигателей / Г. Ф. Цалимов, С. В. Козюра, Е. Е. Васьюко // Вестник двигателестроения. – 2015. – № 2 – С. 102-105.
5. Управление вентиляемыми электроприводами постоянного тока / Е. Д. Лебедев, В. Е. Неймарк, М. Я. Пистрак, О. В. Слежановский. – М. : Энергия, 1970. – 232 с.
6. Зимин Е. Н. Автоматическое управление электроприводами : учеб. пособие / Е. Н. Зимин, В. И. Яковлев. – М. : Высшая школа, 1979. – 318 с.
7. Зайцев Г. Ф. Теория автоматического управления и регулирования: учеб. Пособие / Г. Ф. Зайцев. – К. : Вища школа, 1988. – 431 с.
8. Денисов Ю. О. Влияние пульсаций напряжения живления линейного электродвигуна на параметри перехідної характеристики контуру струму бортової авіаційної системи позиціонування / Ю. О. Денисов, О. О. Бурсала // Технічна електродинаміка. – 2021. – № 6. – С. 20–28. – DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2021.06.020>.

#### References

1. Newell R. (2009). Electric motor efficiency depends upon power factor. Part 1. *Eetimes*. <https://www.eetimes.com/electric-motor-efficiency-depends-upon-power-factor-part-1>.
2. Chau, K.T. z. Wang, John, Wiley, Sons, S. (2011). *Chaos in Electric Drive Systems: Analysis Control and Applications*. Pte Ltd.
3. Denysov, A.I., Bursala, E.A., Bashynskiy, K.V. (2016). Sovershenstvovanie sistem bortovogo elektropitaniia i zapuska gazoturbinnnykh dvigatelei vertoletov [Improvement of systems of onboard power supply and launch of gas turbine engines of helicopters]. *Systemy ozbroiennia i viiskovoi tekhniki – Systems of construction and military equipment*, (4(48)), 98-103.
4. Tsalyimov, H.F., Koziura, S.V., Vasko, E.E. (2015). Razrabotka elektronnykh blokov upravleniia starter-heneratoramy dlia system zapuska avyatsyonnykh dvigatelei [Development of electronic control units for starter-generators for aircraft engine start systems]. *Vestnyk dvyhatelestroeniia – Bulletin of engine building*, (2), 102-105.
5. Lebedev, E.D., Neimark, V.E., Pystrak, M.Ya., Slezhanovskiy, O.V. (1970). *Upravlenie ventilnymi elektroprivodami postoiannogo toka [Control of DC valve electric drives]*. Energiia.
6. Zymyn, E.N., Yakovlev, V.Y. (1979). *Avtomaticheskoe upravlenie elektroprivodami [Automatic control of electric drives]*. Vysshaya shkola.
7. Zaitsev, H.F. (1988). *Teoriia avtomaticheskogo upravleniia i regulirovaniia [Theory of automatic control and regulation]*. Vyshcha shkola.
8. Denysov, Yu.O., Bursala, O.O. (2021). Vplyv pulsatsii napruhy zhyvlennia liniinoho elektrodvyhuna na parametry perekhidnoi kharakterystyky konturu strumu bortovoi aviatsiinoi systemy pozytsionuvannia [The effect of pulsations of the supply voltage of a linear electric motor on the parameters of the transient characteristic of the current circuit of the onboard aircraft positioning system]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic*, (6), 20–28. <https://doi.org/10.15407/techned2021.06.020>.

Отримано 09.03.2023



**Yurii Denisov<sup>1</sup>, Gennady Bolotov<sup>2</sup>, Yevhenii Kuts<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the «Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics» Department Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [den711td@gmail.com](mailto:den711td@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2293-7964>

ResearcherID: [G-1144-2016](https://orcid.org/0000-0003-2293-7964). Scopus Author ID: [56338219200](https://orcid.org/0000-0003-2293-7964)

<sup>2</sup>Doctor in Technical Sciences, Doctor, Doctor of Department of welding technologies and Construction, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [bolotovgp@gmail.com](mailto:bolotovgp@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0305-2917>

ResearcherID: [H-5304-2014](https://orcid.org/0000-0003-0305-2917). Scopus Author ID: [6506157907](https://orcid.org/0000-0003-0305-2917)

<sup>3</sup>PhD Student of the «Electronics, automation, robotics and mechatronics» department, Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [fharse@gmail.com](mailto:fharse@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8062-0602>

ResearcherID: [K-4380-2018](https://orcid.org/0000-0001-8062-0602). Scopus Author ID: [57211998151](https://orcid.org/0000-0001-8062-0602)

**ONE-TIME INTEGRATING DC ELECTRIC DRIVE SYSTEM FOR LAUNCHING A HELICOPTER GAS TURBINE ENGINE**

*The purpose of this work is to develop a system for starting a gas turbine engine (GTE) of a helicopter, which implements interconnected control of the parameters of the current consumed from the on-board battery and the process of setting the speed by means of a valuer, which allows to optimize the dynamic characteristics of the system and increase the time spent on the energy resource of the battery. The goal was achieved in a double-circuit single-integrating electric drive system, which is astatic in current and static in speed, which corresponds to the requirements for the launch system of the GTE helicopter. As a result of the analysis of the transient characteristics of the system by current, the conditions for the existence of aperiodic, boundary, oscillatory modes, as well as the regularities of changes in the derivative current in these modes, are obtained. The magnitude of astaticism by velocity and its relationship with the pattern of change in the output voltage of the velocity setter have been established. As a result of the analysis of the patterns of change in the derivative current, its minimum values for various setting parameters of the proportional regulator of the speed circuit at the time intervals of the transient characteristic have been established. It is proposed to form a transient characteristic of the electric drive system by current in three modes. Its initial section must be formed in the boundary mode, the next - in a weakly oscillatory mode. The third section should correspond to the adjustment of the regulator to a modular optimum. For the practical implementation of the proposed principle of forming the transition characteristic of the electric drive system, it is necessary to include a proportional regulator with a relay law of changing the setting parameter in the speed circuit. An analysis of the transient characteristic for current is carried out, taking into account the discrete nature of the change in the setting of the speed circuit regulator. Its comparison with the transitional characteristic corresponding to the optimum modulo is carried out. It is established that the transient characteristic of the electric drive system with a relay regulator of the speed circuit differs from the transition characteristic tuned to the modular optimum, the absence of overregulation and smaller differences of the derivative at the interval of its existence. The presence of a speed specifier that allows you to stabilize the dynamic current of the electric motor and the low drops of its derivative during the start-up of the GTE create conditions for a longer consumption of the limited energy resource of the on-board battery of the helicopter.*

**Key words:** intensity setter; transfer function; current derivative; discrete controller; transient characteristic; modified z-conversion.

Fig: 5. References: 8.

**Олексій Разживін<sup>1</sup>, Анастасія Люта<sup>2</sup>, Олег Марков<sup>3</sup>, Дмитро Картамишев<sup>4</sup>,  
Вікторія Мирошниченко<sup>5</sup>, Михайло Ільїнський<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів  
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [avrzzhivin75@gmail.com](mailto:avrzzhivin75@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1371-2651>. **Scopus Author ID:** [57672166200](https://orcid.org/0000-0002-1371-2651)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації виробничих процесів  
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [asyalyutaya@gmail.com](mailto:asyalyutaya@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9606-875X>. **Scopus Author ID:** [57205585546](https://orcid.org/0000-0002-9606-875X)

<sup>3</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів  
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [oleg.markov.umd@gmail.com](mailto:oleg.markov.umd@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>

**ResearcherID:** [L-6561-2018](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866). **Scopus Author ID:** [55648046800](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866)

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, асистент кафедри автоматизації виробничих процесів  
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [dima\\_kartamyshev@ukr.net](mailto:dima_kartamyshev@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3240-8919>. **Scopus Author ID:** [57196149104](https://orcid.org/0000-0003-3240-8919)

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри організації та автоматизації виробництва  
ТОВ «Технічний університет «Метінвест політехніка» (Запоріжжя, Україна)

**E-mail:** [y.i.miroshnichenko@mipolytech.education](mailto:y.i.miroshnichenko@mipolytech.education) **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5956-7867>

**Scopus Author ID:** [57205494697](https://orcid.org/0000-0002-5956-7867)

<sup>6</sup>магістр кафедри автоматизації виробничих процесів

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [Fomenkomihail00@gmail.com](mailto:Fomenkomihail00@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5219-5039>

## МОДЕЛЮВАННЯ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ У МІКРОРАЙОНІ

У статті вирішено актуальне науково-технічне завдання підвищення точності контролю та обліку витрат енергетичних ресурсів мешканцями багатопверхового мікрорайону з використанням сенсорних мереж. Проведено аналіз сучасного стану в галузі досліджень бездротових сенсорних мереж (БСМ), визначення найбільш важливих характеристик і структури БСМ при організації автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів (АСКОЕ). Здійснено аналіз існуючих алгоритмів маршрутизації, самоорганізації та вибору головного вузла кластера в бездротових сенсорних мережах датчиків контролю витрати енергетичних параметрів споживачем. Проведена оцінка тривалості життєвого циклу мережі, періоду стабільності та пропускну здатності БСМ на основі відношення між радіусом покриття та радіусом дальності зв'язку.

**Ключові слова:** бездротові сенсорні мережі; автоматизована система контролю та обліку енергоресурсів; кластеризація; нейронні мережі.

Рис.: 8. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Міста є великими споживачами енергоресурсів, оскільки в них проживає не тільки велика частина населення, але і розташована також велика кількість промислових підприємств. Залежно від розміру міста для живлення споживачів, розташованих на його території, повинна передбачатися відповідна система контролю споживання енергоресурсів, яка охоплює всіх споживачів міста, включаючи промислові підприємства.

Нині БСМ є одним зі способів збору даних для широкого спектра хмарних додатків.

Дослідження спрямоване на розробку нових алгоритмів вибору головного вузла та методики розміщення сенсорних вузлів для ефективної побудови БСМ, тому є актуальним.

**Постановка проблеми.** Щорічне підвищення вартості енергоресурсів вимагає проведення заходів з енергозбереження та впровадження сучасних IoT-технологій в розумному використанні і обліку електроенергії. Створена система поділу енергетичних компаній на мережеві і збутові диктує створення нових, достовірних способів за визначенням обсягів купленої і переданої споживачам електричної, теплової енергії, холодної та гарячої води. Усі надані енергоресурси збутовою організацією підлягають оплаті або кінцевим споживачем, або мережевою організацією в якості компенсації втрат при транспортуванні. У зв'язку з чим, мережеві організації змушені проводити заходи щодо зниження технологічних і комерційних втрат. Організація автоматизованої системи контролю та обліку енергоресурсів дозволяє мінімізувати втрати і отримувати максимальний прибуток для обох сторін.



Проведення експериментального дослідження БСМ домівки здійснено рішенням задачі кластеризації сенсорів з використанням нейронних мереж із шаром Коханена [8; 9]. Для створення нейронної мережі із шаром Коханена скористаємося вбудованою в середу MATLAB функцією *newsc*. Відстань між сенсорами приведено у відносних одиницях у вигляді масивів за формулою

$$x_o = X_k / X_{pl}; \quad (1)$$

$$y_o = Y_k / Y_{pl}, \quad (2)$$

де  $X_k, Y_k$  – декартові координати сенсорів домівки;

$X_{pl}, Y_{pl}$  – кінцеві декартові координати домівки.

Результат роботи математичного моделювання представлено на рис. 2. Проведений аналіз дозволяє виявити центри розміщення шлюзів (кластерів) при просторовому розміщенні сенсорів (датчиків) виміру витрат енергетичних параметрів мешканцями 5-поверхової будівлі.

Проведені експериментальні дослідження головних шлюзів домівок мікрорайону. Дослідження здійснені також рішенням задачі кластеризації сенсорів з використанням нейронних мереж з шаром Коханена. Відстань між головними вузлами в масивах баз даних задається з коефіцієнтом 0,1 для більш наглядної форми. При моделюванні розташування центрів кластерів груп домівок здійснювалось відносно геопозиції антени стільникового зв'язку (на рис. 3 зазначено «+»). Результат математичного моделювання в середовищі MATLAB представлено на рис. 3.

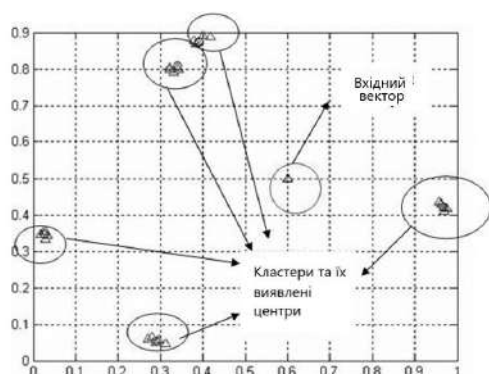


Рис. 2. Виявлені центри кластерів сенсорів у домівки

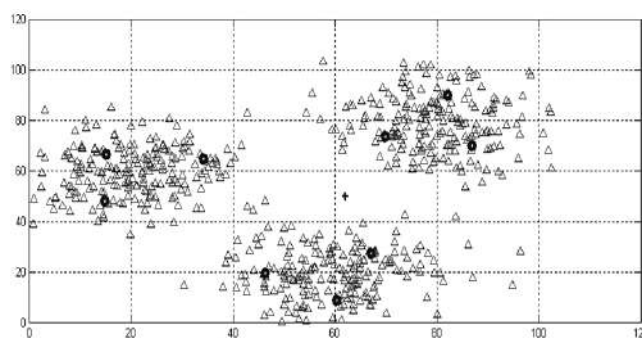


Рис. 3. Виявлені кластери (плюс на рисунку – вхідний вектор)

Проведено дослідження вибору із застосуванням методів нечіткої логіки з метою порівняння результатів та вибору найкращого методу.

В алгоритмі вибору головного вузла кластера з урахуванням нечіткої логіки використовуються два параметри для вибору головного вузла кластера у БСМ: залишкова енергія та центральність за діаграмами Вороного [8; 12], які оцінюються на основі методів нечіткої логіки. Контролер нечіткої логіки FLC (Fuzzy Logic Controller) складається з наступних компонентів (див. рис. 4): блоку фазифікації, бази правил, блоків нечіткого виведення та дефазифікації.

Етапи моделювання. *Перший етап.* Фазифікація – процес перетворює точні значення вхідних змінних лінгвістичних (нечітких) змінних за допомогою застосування певних функцій належності [10, 11].

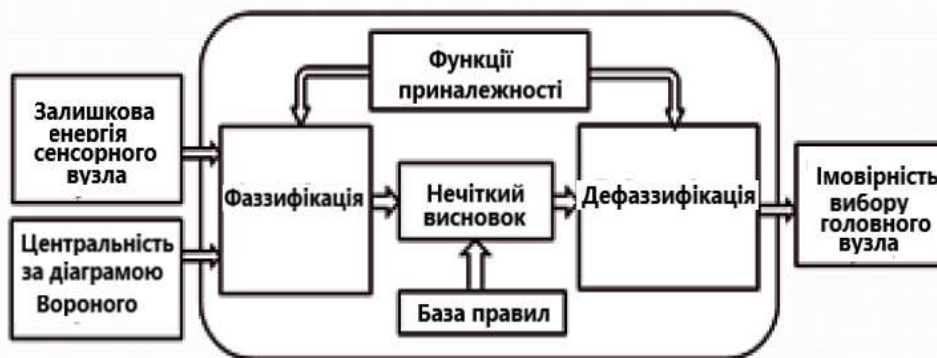


Рис. 4. Контролер нечіткої логіки (FLC) вибору головного вузла

У табл. 1 наведено параметри, терм-множини та межі значень параметрів для системи нечіткого виведення. На виході з FLC матимемо можливість вибору головного вузла у відсотках.

Таблиця 1 – Параметри системи нечіткого висновку

x	$x_1$	Назва параметра	Залишкова енергія
		Терм-множини	{мала, середня, висока}
		Межі значень	[0-0,1] Дж
	$x_2$	Ім'я параметру	Центральність за діаграмами Вороного
		Терм-множини	{далека, середня, близька}
		Межі значень	[0-100]%
y		Ім'я параметру	Імовірність вибору головного вузла
		Терм-множини	{дуже мала, мала, більше малої, менше середньої, середня, більше середньої, невелика, велика, дуже велика}
		Межі значень	[0-100]%

За підсумками таблиці 1 для нечітких множин зазначених параметрів за допомогою програмного забезпечення MATLAB отримуємо функції належності, наведені на рис. 5.

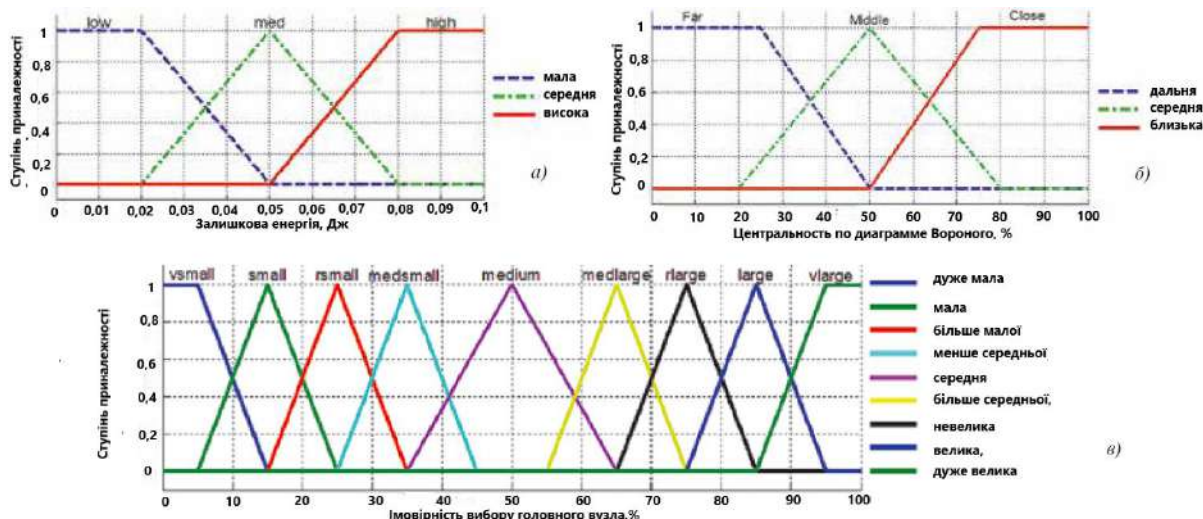


Рис. 5. Функції приналежності вхідних параметрів:  
 а – залишкова енергія; б – центральність за діаграмами Вороного;  
 в – імовірність вибору головного вузла

Такими функціями для кожного терму всіх лінгвістичних змінних обрано трикутні функції належності. Після знаходження функцій належності та вхідних параметрів необхідно визначити базу правил відповідних параметрів.

Другий етап. База правил, що являє собою безліч нечітких правил  $R^k$ ,  $k = 1, \dots, N$  виду:

$$\begin{aligned} & \text{Rk: ЯКЩО}(x_1 \text{ це } A_1^k \text{ ТА } x_2 \text{ це } A_2^k \dots \text{ ТА } x_n \text{ це } A_n^k), \\ & \text{ТОДІ}(y_1 \text{ це } B_1^k \text{ ТА } y_2 \text{ це } B_2^k \dots \text{ ТА } y_n \text{ це } B_n^k), \end{aligned} \quad (3)$$

де  $n$  — кількість нечітких правил;

$A_k$  — нечіткі множини  $A_i^k \subseteq X_i \subset R, i = 1, \dots, n$  (див. рис. 5).

Третій етап. Правилком для блоку нечіткого висновку використовуватимемо правило Мамдані:

$$\mu_B(y) = \max_{k=1-N} \left\{ \min \left[ \mu_{A_1^k}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^k}(\bar{x}_2), \mu_{B_1^k}(y) \right] \right\}, \quad (4)$$

де  $\bar{x}_1$  та  $\bar{x}_2$  — відповідно вхідні параметри (залишкова енергія сенсорного вузла та центральність за діаграмами Вороного);

$A_1^k$  та  $A_2^k$  — відповідні їм нечіткі множини,

$k = 1, \dots, N$ ;

$N$  — кількість правил нечіткого висновку ( $N = 32 = 9$ );

$y$  — вихідний параметр (імовірність вибору головного вузла);

$B_1^k$  — множина, яка відповідає вихідному параметру.

Отримавши основу правил, виконуємо операцію нечіткого висновку. Як висновок для кожного правила використовується лінгвістична змінна — ймовірність вибору головного вузла.

Четвертий етап. Імовірність вибору головного вузла визначена в результаті операції дефазифікації вихідної нечіткої множини (значення ймовірності вибору головного вузла) проведено методом центру тяжкості, використовуючи формули [10-13]:

$$y = \left( \sum_{k=1}^N ak \int_y \mu_{B^k}(y) dy \right) / \left( \sum_{k=1}^N ak \int_y \mu_{B^k}(y) dy \right), \quad (4)$$

де  $\mu_{B^k}$  — функція належності правила вихідної нечіткої множини  $k$ -го правила бази правил,  $k = 1, \dots, N$ ;

$ak$  — точка, у якій ця функція належності набуває значення 1.

Запропонований алгоритм може бути ефективно використаний для вибору головного вузла кластера у БСМ (рис. 6).

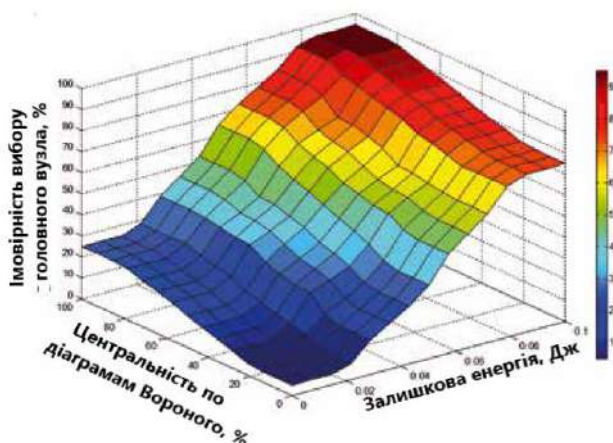


Рис. 6. Залежність імовірності вибору головного вузла від залишкової енергії та центральності за діаграмами Вороного

Нижче наведено результати моделювання, виконані в середовищі MATLAB.

Як модель мережі використовується модель зі 100 вузлів, розподілених випадковим чином на площині розміром  $100 \times 100$  м.

Після того як вузли розподілені, відбувається перехід до формування кластерів із використанням діаграм Вороного.

На рис. 7 наведено результати моделювання вибору головного вузла кластера на основі нечіткої логіки з використанням діаграм Вороного.

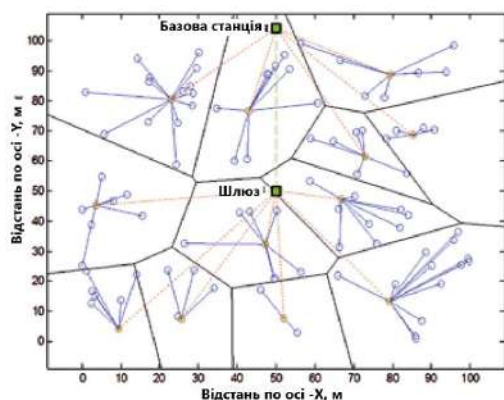


Рис. 7. Вибір головного вузла кластера на основі нечіткої логіки з допомогою діаграм Вороного

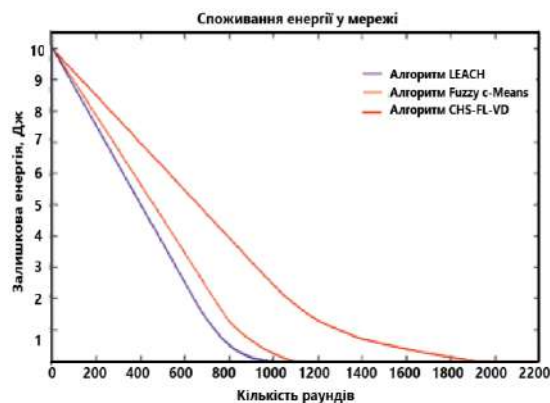


Рис. 8. Залежність залишкової енергії від кількості раундів

Для того щоб оцінити ефективність запропонованого алгоритму, скористаємося загально визначеними для порівняння метриками: залишковою енергією та життєвим циклом мережі. На рис. 8 показана залишкова енергія в мережі відповідно для запропонованого алгоритму порівняно з базовим алгоритмом LEACH та добре відомим алгоритмом, виконаним із використанням нечіткої логіки Fuzzy C-Means.

Застосування діаграм Вороного, як міри центральності розташування вузла (у сукупності із залишковою енергією), та нечіткої логіки дозволило суттєво збільшити життєвий цикл мережі порівняно з базовим алгоритмом LEACH та з алгоритмом Fuzzy C-Means, заснованим також на використанні методів нечіткої логіки.

Результати моделювання довели, що запропонований алгоритм дозволяє суттєво збільшити життєвий цикл сенсорної мережі порівняно з відомими алгоритмами (на 89 % порівняно з алгоритмом LEACH та на 70 % – з Fuzzy C-Means), а, значить, і підвищити точність контролю та обліку енергоресурсів спожитих мешканцями. Підвищення життєвого циклу сенсорної мережі безпосередньо впливає на точність контролю, бо виключає прогалини у формуванні даних про фактичну витрату енергетичних ресурсів у реальному часі.

**Висновки.** Проведене оцінювання тривалості життєвого циклу мережі, періоду стабільності та пропускну здатності БСМ на основі відношення між радіусом покриття та радіусом дальності зв'язку показало, що застосований алгоритм вибору головного вузла кластера на основі нечіткої логіки з використанням діаграм Вороного суттєво підвищив точність контролю та обліку енергоресурсів спожитих мешканцями у мікрорайоні шляхом збільшення життєвого циклу сенсорної мережі в порівнянні з алгоритмами LEACH та Fuzzy C-Means.

### Список використаних джерел

1. Caragliu A. Smart cities in Europe [Electronic resource] / A. Caragliu // Journal of Urban Technology. – 2011. – Vol. 18, No 2. – Pp. 65-82. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/46433693\\_Smart\\_Cities\\_in\\_Europe](https://www.researchgate.net/publication/46433693_Smart_Cities_in_Europe).
2. Curiale M. From smart grids to smart city [Electronic resource] / M. Curiale. // Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG) (Jeddah, Saudi Arabia, 14-17 December 2014). – 2014. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/308602206\\_From\\_smart\\_grids\\_to\\_smart\\_city](https://www.researchgate.net/publication/308602206_From_smart_grids_to_smart_city).
3. Cohen B. What exactly is a smart city? [Electronic resource] / B. Cohen // Fast Company. 2012. – Access mode: [https://www.fastcompany.com/1680538/what\\_exactly\\_is\\_a\\_smart\\_city](https://www.fastcompany.com/1680538/what_exactly_is_a_smart_city).
4. Czaja J. How to build a smart city [Electronic resource] / J. Czaja. – Access mode: <https://www.linkedin.com/pulse/how-build-smart-city-jaroslaw-czaja>.
5. A widespread review of smart grids towards smart cities [Electronic resource] / M. Farmanbar, K. Parham, O. Arild, C. Rong // Energies. – 2019. – Vol. 12, No 23. – Access mode: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/23/4484>.

6. Kang T. South Korea's experience with smart infrastructure services [Electronic resource] / T. Kang. – [W. e.], 2020. – 36 p. – Access mode: <https://publications.iadb.org/en/south-koreas-experience-smart-infrastructure-services-smart-grids>.
7. Case study: a smart water grid in Singapore [Electronic resource] / M. Allen, A. Preis, M. Iqbal, A. J. Whittle // *Water Practice & Technology*. – 2012. – Vol. 7, № 4. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/243971905\\_Case\\_study\\_A\\_smart\\_water\\_grid\\_in\\_Singapore](https://www.researchgate.net/publication/243971905_Case_study_A_smart_water_grid_in_Singapore).
8. Koucheryavy A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking* [Electronic resource] / A. Koucheryavy, A. Prokopiev // *Proceedings, 11th International Conference, NEW2AN 2011 and 4th Conference on Smart Spaces, ruSMART2011. LNCS 6869 (S.- Petersburg, August 2012)* / Springer, 2011. – Pp. 287-294. – Access mode: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22875-9\\_26](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-22875-9_26).
9. Koucheryavy A. Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications [Electronic resource] / A. Koucheryavy, A. Vybornova // *12th International Conference on Next Generation Wired. Wireless Networking. NEW2AN 2012 (S.- Petersburg, August 2012)* / Springer LNCS 7469. – Access mode: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32686-8\\_31](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-32686-8_31).
10. Koucheryavy A. State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models [Electronic resource] / A. Koucheryavy // *Proceedings, ICACT'2014 : 16th International Conference on Advanced Communication Technology (Phoenix Park, Korea, 16-19 February. 2014)*. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6778977>.
11. Heinzelman, W. R. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks [Electronic resource] / W. R. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan // *IEEE Transactions on Wireless Communications*. – 2002. – Vol. 1, № 4. – Pp. 660-670. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/3432618\\_An\\_Application-Specific\\_Protocol\\_Architecture\\_for\\_Wireless\\_Micro-Sensor\\_Networks](https://www.researchgate.net/publication/3432618_An_Application-Specific_Protocol_Architecture_for_Wireless_Micro-Sensor_Networks).
12. Salim, A. Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks [Electronic resource] / A. Salim, A. Koucheryavy // *Advanced Communication Technology. ICACT 2009 : 11th International Conference IEEE (Phoenix Park, Korea, Feb. 2009)*. – 2009. – Vol. 03. – Pp. 2141-2146. – Access mode: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4809504>.
13. Ben Alla S. Gateway and Cluster Head Election using Fuzzy Logic in heterogeneous wireless sensor networks [Electronic resource] / S. Ben Alla, A. Ezzati, A. Mohsen // *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)(May 2012)*. – 2012. – Pp. 10-12, 761-766. – Access mode: [https://www.researchgate.net/publication/256838366\\_Gateway\\_and\\_Cluster\\_Head\\_Election\\_using\\_Fuzzy\\_Logic\\_in\\_heterogeneous\\_wireless\\_sensor\\_networks](https://www.researchgate.net/publication/256838366_Gateway_and_Cluster_Head_Election_using_Fuzzy_Logic_in_heterogeneous_wireless_sensor_networks).

### References

1. Caragliu, A. (2011). *Smart cities in Europe. Journal of Urban Technology*, 18(2), 65-82. [https://www.researchgate.net/publication/46433693\\_Smart\\_Cities\\_in\\_Europe](https://www.researchgate.net/publication/46433693_Smart_Cities_in_Europe).
2. Curiale, M. (2014). From smart grids to smart city. *Saudi Arabia Smart Grid Conference (SASG)*. [https://www.researchgate.net/publication/308602206\\_From\\_smart\\_grids\\_to\\_smart\\_city](https://www.researchgate.net/publication/308602206_From_smart_grids_to_smart_city).
3. Cohen, B. (2012). What exactly is a smart city? *Fast Company*. [https://www.fastcompany.com/1680538/what\\_exactly\\_is\\_a\\_smart\\_city](https://www.fastcompany.com/1680538/what_exactly_is_a_smart_city).
4. Czaja, J. (2016). How to build a smart city. *ITProPortal*. [https://www.itproportal.com/2016/07/09/how\\_to\\_build\\_a\\_smart\\_city](https://www.itproportal.com/2016/07/09/how_to_build_a_smart_city).
5. Farmanbar M., Parham K., Arild O., & Rong C. (2019). A widespread review of smart grids towards smart cities. *Energies*, 12(23). [https://www.mdpi.com/1996\\_1073/12/23/4484/htm](https://www.mdpi.com/1996_1073/12/23/4484/htm).
6. Kang, T. (2020). *South Korea's experience with smart infrastructure services* (p. 36). <https://publications.iadb.org/en/south-koreas-experience-smart-infrastructure-services-smart-grids>.
7. Allen, M., Preis, A., Iqbal, M., & Whittle, A.J. (2012). Case study: a smart water grid in Singapore. *Water Practice & Technology*, 7(4). [https://www.researchgate.net/publication/243971905\\_Case\\_study\\_A\\_smart\\_water\\_grid\\_in\\_Singapore](https://www.researchgate.net/publication/243971905_Case_study_A_smart_water_grid_in_Singapore).
8. Koucheryavy, A. (2011). Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Telemetry Applications. *Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking. Proceedings, 11th International Conference, NEW2AN 2011 and 4th Conference on Smart Spaces, ruSMART2011. LNCS 6869*. Springer.
9. Koucheryavy, A., & Vybornova A. (2012). Ubiquitous Sensor Networks Traffic Models for Medical and Tracking Applications / *12th International Conference on Next Generation Wired. Wireless Networking. NEW2AN 2012. Springer LNCS 7469*.



10. Koucheryavy, A. (2014). State of Art and Research Challenges for USN Traffic Flow Models. *Proceedings, ICACT'2014*.
11. Heinzelman, W.R., & Chandrakasan, H. (2002). Balakrishnan. An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 1(4), 660-670.
12. Salim, A., & Koucheryavy, A. (2009). Cluster head selection for homogeneous Wireless Sensor Networks / *Advanced Communication Technology. ICACT 2009. 11th International Conference IEEE*, 03, 2141-2146.
13. Ben Alla, S., Ezzati, A., & Mohsen, A. (2012). Gateway and Cluster Head Election using Fuzzy Logic in heterogeneous wireless sensor networks. *International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS)* (pp. 10-12, 761-766).

Отримано 20.03.2023

UDC 681.5:629.3

**Oleksii Razzhyvin<sup>1</sup>, Anastasiia Liuta<sup>2</sup>, Oleg Markov<sup>3</sup>, Dmytro Kartamyshev<sup>4</sup>,  
Victoria Miroshnichenko<sup>5</sup>, Mykhailo Ilinskyi<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Automation of Industrial Processes Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [avrazzhivin75@gmail.com](mailto:avrazzhivin75@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1371-2651>. **Scopus Author ID:** [57672166200](https://orcid.org/0000-0002-1371-2651)

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Automation of Industrial Processes Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [asyalyutaya@gmail.com](mailto:asyalyutaya@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9606-875X>. **Scopus Author ID:** [57205585546](https://orcid.org/0000-0002-9606-875X)

<sup>3</sup>Doctor of Technical Science, Professor of the Automation of Industrial Processes Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [oleg.markov.umd@gmail.com](mailto:oleg.markov.umd@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9377-9866>  
**ResearcherID:** [L-6561-2018](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866). **Scopus Author ID:** [55648046800](https://orcid.org/0000-0001-9377-9866)

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant of the Automation of Industrial Processes Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [dima\\_kartamyshev@ukr.net](mailto:dima_kartamyshev@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3240-8919>. **Scopus Author ID:** [57196149104](https://orcid.org/0000-0003-3240-8919)

<sup>5</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Organization and Automation of Manufacturing  
LLC "Technical University "Metinvest Politechnika"

**E-mail:** [v.i.miroshnichenko@mipolytech.education](mailto:v.i.miroshnichenko@mipolytech.education) **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5956-7867>  
**Scopus Author ID:** [57205494697](https://orcid.org/0000-0002-5956-7867)

<sup>6</sup>master of the Automation of Industrial Processes Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [Fomenkomihail00@gmail.com](mailto:Fomenkomihail00@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5219-5039>

## **SIMULATION AND IMPROVEMENT OF SENSOR NETWORK OF ENERGY RESOURCES CONSUMPTION ACCOUNTING SYSTEM IN MICRODISTRICT**

*The research is aimed at the development of new algorithms for the selection of a main node and methods of placement of sensor nodes for the effective construction of wireless sensor networks (WSNs), therefore it is relevant.*

*The analysis of the literature made it possible to establish that many scientists were engaged in the research of methods of building smart energy systems for a smart city management. However, the researchers did not analyze the potential and real threat of data transmission from energy consumption control sensors.*

*The purpose of the research is to improve the accuracy of control and accounting of energy resources consumed by residents for the neighborhood using wireless sensor networks.*

*The article analyzes the state of the art in the field of research on wireless sensor networks (WSNs), determines the most important characteristics and structure of WSNs in the organization of the automated system of control and accounting of energy resources (ASCOE). An analysis of the existing algorithms for routing, self-organization and selection of a main node of the cluster in wireless sensor networks of sensors for controlling the consumption of energy parameters by the consumer was carried out. The duration of the network's life cycle, the period of stability and the bandwidth of the BSM was evaluated based on the ratio between the radius of coverage and the radius of the communication range.*

*Studies have shown that the applied algorithm for selecting the main node of the cluster based on fuzzy logic using Voronoi diagrams significantly increases the life cycle of the sensor network compared to the LEACH and Fuzzy C-Means algorithms.*

**Keywords:** wireless sensor networks; automated system of control and accounting of energy resources; clustering; neural networks.

*Fig.: 8. References: 13.*

## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2023-1(31)-146-157  
УДК: 623.644.2 + 623.365

**Руслан Беспалько<sup>1</sup>, Тарас Гуцул<sup>2</sup>, Іван Казімір<sup>3</sup>, Катерина Мирончук<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоматики, землеустрою та агроменеджменту  
Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (Чернівці, Україна)  
E-mail: [r.belspalko@chnu.edu.ua](mailto:r.belspalko@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1225-852X>  
ResearcherID: [E-2956-2016](https://orcid.org/0000-0003-1225-852X)

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник  
Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (Чернівці, Україна)  
E-mail: [t.gutsul@chnu.edu.ua](mailto:t.gutsul@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7192-3289>  
ResearcherID: [R-8012-2017](https://orcid.org/0000-0002-7192-3289)

<sup>3</sup>кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри геоматики, землеустрою та агроменеджменту  
Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (Чернівці, Україна)  
Email: [i.kazimir@chnu.edu.ua](mailto:i.kazimir@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8362-4676>  
ResearcherID: [E-2972-2016](https://orcid.org/0000-0001-8362-4676)

<sup>4</sup>кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри геоматики, землеустрою та агроменеджменту  
Навчально-науковий інститут біології, хімії та біоресурсів  
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича (Чернівці, Україна)  
Email: [k.myronchuk@chnu.edu.ua](mailto:k.myronchuk@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5462-6226>  
ResearcherID: [E-1635-2016](https://orcid.org/0000-0001-5462-6226)

### СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНЮВАННЯ ЧЕРГОВОСТІ ГУМАНІТАРНОГО РОЗМІНУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ

*Україна потерпає від забруднення мінами та вибухонебезпечними об'єктами, що залишилися з часів Першої, Другої світових воєн, а також у результаті продовження конфлікту на Сході країни з 2014 р., який переріс у повномасштабну війну. На початок 2023 р. пресслужба ДСНС проінформувала про замінування  $\approx 40\%$  території (понад 250 000 км<sup>2</sup>). За площею замінованих земель ООН відносить Україну до найзамінованіших. Масштаби мінування перевершують країни, де військові конфлікти тривали десятиліттями. До повномасштабного вторгнення, за 2021 р. було гуманітарно розміновано  $\approx 46$  км<sup>2</sup> території. Оптимістичні прогнози аналітиків оцінюють тривалість післявоєнного гуманітарного розмінування уражених територій у 5-10 років, песимістичні – у понад 70 років. За таких умов та з урахуванням закордонного досвіду потрібно розробляти підходи до першочергового повернення до господарського використання найперспективніших земельних ділянок.*

*Стаття є оглядово-інформаційною.*

*Ключові слова:* ГИС; ДЗЗ; картографування; моніторинг; розмінування; СППР.

*Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 32.*

**Актуальність теми дослідження.** Проблему післявоєнного розмінування територій без перебільшення вважають світовою. Станом на жовтень 2022 р. за даними щорічного звіту Міжнародної кампанії із заборони наземних мін LandMine Monitor 67 країн забруднено мінами [1]. Сумарна кількість установлених мін оцінюється орієнтовно в 110 млн шт. і приблизно така ж кількість виготовлена, зберігається на складах та очікує застосування або знищення. У 2021 р. із земної поверхні вилучено та знешкоджено 117,8 тис. мін та очищено понад 132,52 км<sup>2</sup> території. Обсяги вилучення мін не порівняні зі щорічною кількістю встановлених мін, які розрахунково становлять до 2 млн шт., а тому мінна небезпека зростає. Під постійний ризик ураження мінами та вибухонебезпечними предметами щоденно потрапляє щонайменше 60 млн людей, адже вони проживають у місцях, де відбулися або тривають збройні конфлікти.

Армія росії в період інтенсивних бойових дій практично щоденно вистрелювала по Україні понад 40-60 тис. артилерійських боєприпасів. Частина з них не вибухнула. За різними оцінками не спрацьовують до 20 % випущених боєприпасів [2]. Крім того, на складах росії найбільші у світі запаси протипіхотних мін – 26,5 млн шт., і навіть орієнтовне їх застосування на території України залишається невідомим.

Керуючись Законом України «Про протимінну діяльність в Україні», положеннями статуту «Міжрегіонального центру гуманітарного розмінування», означено важливість реалізації комплексу заходів, які проводяться з метою ліквідації небезпек, пов'язаних із вибухонебезпечними предметами, включаючи нетехнічне та технічне обстеження територій, складення карт, виявлення, знешкодження та (або) знищення вибухонебезпечних предметів. Сьогодні, зважаючи на воєнний стан та складну економічну ситуацію, Україна відчуває брак засобів, необхідних для проведення таких заходів.

На загальнодержавному рівні велика площа замінованих територій обмежує можливості пересування по них та використання в активному господарському обробітку або як просторового базису. Переважна частина замінованих територій – ареали поширення родючих чорноземних ґрунтів. За оцінкою Українського клубу аграрного бізнесу, у звільнених областях заміновано  $\approx 2$  млн га полів. Кожен рік простою цих земель коштуватиме економіці країни до 800 млн \$. У тимчасовій окупації перебувають 6 млн га, які після звільнення теж потребуватимуть перевірки. Розмінування не гарантує фермерам повернення до роботи на цих землях. Поверхню ще потрібно вирівняти та рекультивувати, тобто відновити родючість ґрунту [2]. Це суттєво послаблює стан продовольчої безпеки всередині країни та частку виробництва і продажу її агропродукції на світових ринках.

Особливу небезпеку становлять протипіхотні міни, на яких у мирний час підриваються тисячі мирних законслухняних громадян, серед яких багато дітей. Важливо мати на увазі, що на кожні 5 тис. знешкоджених мін припадає один загиблий і двоє травмованих саперів [3].

Побічні наслідки збройного конфлікту є джерелом небезпеки виникнення та поширення надзвичайних ситуацій техногенного характеру внаслідок пожежі, вибуху ймовірності вибуху) виявлених вибухонебезпечних предметів (застарілих боєприпасів), наявності у навколишньому середовищі шкідливих (забруднюючих) і радіоактивних речовин понад гранично допустимої концентрації.

Згідно зі звітом Програми розвитку Організації Об'єднаних Націй (ПРООН) і Ліванського центру розмінування за 2019 р., кожен витрачений долар на розмінування в Лівані, приносить економічну віддачу в розмірі 4,15 \$ [4].

**Постановка проблеми.** На виготовлення та встановлення міни затрачають від 3 до 35 \$, тоді як послуга розмінування коштує від 300 до 1000 \$. Вартість розмінування 1 км<sup>2</sup> території оцінюється в 3 млн \$. Кожна година, витрачена на встановлення протипіхотних мін, потребує понад 100 годин на розмінування. Орієнтовні витрати на розмінування забрудненої території України становитимуть від 400 до 900 млрд \$ [5].

Ні в одному воєнному конфлікті ніхто не знає точної кількості встановлених мін із різних причин [6]:

- не всі заміновані ділянки виявляються;
- не ведеться належний облік закладених мін збройними силами та іншими учасниками конфліктів, а в деяких випадках їх встановлення хаотичне шляхом скидання з літаків;
- доступні записи часто не коректні та не повні;
- стихійні лиха, повені, землетруси, піщані бурі можуть зміщувати міни та нерозірвані боєприпаси або накривати маркери, що позначають ділянки з мінами.

Район вважається «замінованим», навіть якщо в ньому трапляється лише одна наземна міна або люди вважають, що він може бути замінованим. Фермери не будуть обробляти землю там, де, на їхню думку або через їх побоювання, існує небезпека наявності наземних мін. Дороги не можна використовувати, якщо люди знають або вважають, що їх заміновано. Школи, лікарні та водопостачання можуть бути недоступні через загрозу мін. Дослідження, розмінування та розчищення територій переконують людей у можливості їх безпечного використання. Міжнародні стандарти протимінної діяльності (IMAS) розроблено для забезпечення спільної методології роботи команд саперів.

Наявність наземних мін сповільнює процеси повернення біженців та переміщених осіб або взагалі унеможлиблює їх. Вони перешкоджають наданню допомоги та послуг, загрожують пораненням та вбивствам гуманітарних працівників. Медична допомога постраждалим від наземних мін, якщо вона доступна – дороговартісна й перевантажує систему охорони здоров'я. Громади змушені залишати землю, від якої залежать: сільськогосподарські угіддя, сади, зрошувальні канали, ліси, джерела води можуть стати недоступними. Міни також перекривають доступ до економічно важливих об'єктів інфраструктури (доріг, опор ЛЕП і ін.). Професійна реабілітація та підтримка постраждалих часто недоступна, тому багатьом врятованим після нещасного випадку доводиться з неймовірною важкістю заробляти на проживання. З іншого боку, країна, що постраждала від мін, може одержати міжнародну допомогу для розмінування та допомоги жертвам, як тільки вона стане учасником Договору про заборону мін [7].

Україна підписала Договір про заборону мін 24 лютого 1999 р., і ратифікувала його 27 грудня 2005 р., ставши державою-учасником з 1 червня 2006 р. Досвід показує, що жодна країна, котра стикається з необхідністю розмінування територій після військових дій не може розв'язати цю проблему власними силами за рахунок бюджетних коштів, а тому звертається по допомогу до міжнародних та вітчизняних постачальників послуг гуманітарного розмінування [8].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Пошукова система Google Scholar за ключовим словом «розмінування» в період з 1991 по 2013 рр. знаходить лише 118 публікацій. Ситуація із залишками мін часів Першої та Другої світових війн залишалася історичним пережитком та періодично висвітлювалася у місцевих ЗМІ. З лютого-березня 2014 р. розпочалося російське збройне вторгнення на Кримський півострів, а з квітня 2014 р. і на схід України. За період останніх 10 років кількість відповідних публікацій за тематикою різко зросла до 1720, що свідчить про актуальність означеної проблеми.

За цей період спостерігаються і серйозні зрушення в законодавчій базі розмінування. 6 грудня 2018 р. Верховною Радою з метою вдосконалення правових та організаційних засад здійснення протимінної діяльності прийнято ЗУ «Про протимінну діяльність в Україні». Подальші зміни та доповнення 25 квітня 2019 р. сформували можливості для одержання донорського фінансування від міжнародних партнерів та іноземних фондів.

У 2009 р. були прийняті стандарти процесів вивільнення землі, які додані до Міжнародних стандартів протимінної діяльності (IMAS 08.20-08.22) [9]. Ці стандарти покликані запобігати масштабуванню проблем розмінування, і перешкоджають виділенню значних обсягів ресурсів у райони, які зазнали незначного рівня забруднення. Завдяки Женевському міжнародному гуманітарному центру Розмінування (GICHD) набуло розвитку та просувається широке використання інформаційного менеджменту. Відбулося впровадження найкращих практик та стандартів маркування мін з використанням геоінформаційних систем (ГІС).

«Розмінування як діяльність за своєю суттю географічне. Воно полягає у визначенні місцеположення та просторої протяжності вибухонебезпечних об'єктів і аналізі їх близькості до вразливих громад та об'єктів», – сказав директор GICHD Стефано Тоскано [10].

Основним джерелом формування баз геопросторових даних є матеріали дистанційного зондування (ДЗЗ) – багатозональні і гіперспектральні знімки. Інноваційною платформою для збору даних ДЗЗ та окремим інструментом для розмінування стає застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) [11]. Підходи до їх використання ґрунтуються на встановленні на них у ролі корисного навантаження міношукачів або на використанні багатоспектральної апаратури (зокрема ІЧ-датчиків та гіперспектральних сенсорів). Роль технологій з використанням БПЛА розширюється від звичайного технічного обстеження місцевості до дослідження полів за допомогою різноманітних датчиків перед початком розмінування [12]. БПЛА можуть співпрацювати з іншою робототехнікою створюючи 3-D карту прохідності місцевості з фотознімків у спільній хмарі точок [13].

Не менш важливими є різні набори даних, які надходять до баз даних із соціальних мереж (Twitter, Telegram і Facebook) та інформаційних агентств, перевіряються на предмет причетності до сектору протимінної діяльності та доповнюють ймовірні небезпеки на інтелектуальних інтерактивних картах [14].

Класифікацію методів виявлення мінних засобів за фізичним принципом наведено в [15], вона включає: механічні (контактні, механізовані); електромагнітні (радіохвильові, оптичні, рентгенівські, гамма-випромінювання); хімічні (газоаналітичні, біофізичні); магнітні (магнітометричні); акустичні (сейсмоакустичні).

Жоден із використовуваних на сьогодні методів виявлення мін за допомогою технічних засобів за основними параметрами (чутливість, вибірковість, швидкодія) не є задовільним, не відповідає повністю стандартам ООН і не може вирішити завдання з глобального розмінування планети [16], що зумовлює потребу подальших досліджень.

З метою досягнення максимальної ефективності у виявленні мін та вибухонебезпечних об'єктів відбувається поєднання різних методів та підходів. Таким чином, виникає вплив багатьох критеріїв на пошук рішення, часто зовсім не очевидних, що потребує поєднання застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР), мультиагентних систем та нейронних мереж.

СППР базуються на поєднанні ГІС-аналізу й багатокритеріального методу, щоб забезпечити ефективне управління протимінною діяльністю. ГІС є потужним інструментом для генерування агрегованої інформації, що використовується в багатокритеріальному аналізі, а також сполучною ланкою між ієрархічними рівнями прийняття рішень в СППР. Результати СППР прокладають шлях до створення серії тематичних карт мінної небезпеки. Карти мінної небезпеки – синтетичні тематичні твори, одержані в результаті синтезу наявних даних та експертних знань. Їх формування має на меті допомогти кінцевим користувачам визначати пріоритетні сценарії скорочення замінованих площ та визначення черговості їх розмінування.

З 2012 р. нейронні мережі перевершують інші методи машинного навчання та успішно використовуються в тисячах додатків для класифікації і виявлення об'єктів по ДЗЗ [17]. Удосконалену класифікацію та розпізнавання зображень за допомогою машинного навчання/штучного інтелекту було використано для ідентифікації зон із ймовірними мінами [18].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Пріоритети розмінування територій визначаються з огляду на вказівки Національного органу з питань протимінної діяльності та пропозиції місцевої влади. Звітні дані по дослідженню розмінування в 15 країнах показали, що понад 97,5 % очищених земель виявилися незабрудненими [19]. Хороша інформаційна підтримка та чітка координація робіт є запорукою концентрації зусиль у правильному напрямку.

**Мета дослідження.** Виявити, порівняти та обґрунтувати черговість проведення гуманітарного розмінування земельних ділянок різного цільового призначення.

**Виклад основного матеріалу.** Звіт GICHD [20] визначає чотири головних цілі протимінної діяльності: 1) мінімізація загиблих та постраждалих від мін та вибухонебезпечних об'єктів; 2) дотримання міжнародних договорів; 3) економічне зростання; 4) скорочення рівня бідності населення. У постраждалих у конфліктах державах завжди додають критерій «не нашкодити».

Встановлення пріоритетів у національній програмі протимінної діяльності вимагає низки взаємопов'язаних процесів і рішень, які встановлюють одержувача найбільших ресурсів та що його першочергові кроки. Тобто розподіл ресурсів серед географічних районів країни, програмних компонентів та операторів.

У 2008 році МАССА (Mine Action Coordination Centre for Afghanistan) запровадила нові критерії визначення пріоритетів. Хоча це опубліковано як єдиний список, очевидно, що існує два різних типи критеріїв. Деякі з них забезпечують спрямування значних

активів у певні райони країни, а інші використовуються для встановлення пріоритетів завдань. Наприклад, згідно з результатами проєкту (фінансованого Канадським агентством міжнародного розвитку) щодо планування оцінки завдань у Камбоджі у 2004 р., жителі сіл у сильно забрудненій північно-західній частині Камбоджі були стурбовані головним чином відсутністю землі для сільського господарства та житла. Визначаючи переваги завдань, вони надавали більшу вагу потенційним вигодам від землекористування, ніж вигодам від зменшення ризиків.

Порядок первинного розмінування звільнених територій в Україні після завершення всіх бойових дій було озвучено речницею МВС Альоною Матвєєвою на брифінгу з гуманітарного розмінування. «Спочатку розмінуються дороги, які ведуть до населених пунктів. За цим йде розмінування у самих населених пунктах: прибудинкові території, цивільна інфраструктура, об'єкти критичної інфраструктури, також розмінується територія довкола населених пунктів. І аж після первинного розмінування, яке дасть можливість повернутися населеним пунктам до життя, далі буде розмінування полів, водних об'єктів, лісів» [21].

Послідовність розмінування територій визначено Планом виконання заходів гуманітарного розмінування на звільнених територіях за умовними етапами (рис. 1) [22].



Рис. 1. Етапність виконання та виконавці заходів гуманітарного розмінування

Після успішного проведення зовнішнього контролю якості оператор протиміної діяльності передає відповідальність за територію місцевим органам влади. Виконання зазначеного етапу надає гарантію на безпечне користування землею та є найбільш ефективним з огляду на максимальні можливі зусилля з усунення ризиків від вибухонебезпечних предметів.

Для розмінування необхідні карти і плани високої точності та детальності. Сучасні конфлікти включають не тільки поверхневе (двовимірне) забруднення, але і тривимірне мінування територій. Нещодавні конфлікти в Сирії, Лівії та Ємені відбувалися в основному в міських середовищах, які значно складніші. Експерти з'ясовують можливості тривимірного картографування в ГІС. Тривимірні моделі забезпечують ефективну основу для керування інформацією щодо ризиків та процесу очищення. Розробники в GICHD створили набір інструментів та додатків, які залучають до процесів дезактивації всіх учасників, у тому числі й місцевих жителів. Такий обмін місцевими знаннями сприяє накопиченню інформації щодо територій, які треба очистити першочергово [23].

Одне із ключових питань гуманітарного розмінування – вибір територій для очищення. Використовуючи ГІС, аерофото- та супутникові дані в поєднанні з ГНСС під час нетехнічного обстеження можна геоприв'язати до місцевості всі наявні й додатково зібрані дані в інформаційну систему [24].

Цікавим прикладом застосування програми протимінної діяльності є досвід СППР Західної Сахари [25]. Відсутність досліджень цієї території призвела до обмеженості даних у міжнародній організації з гуманітарного розмінування IMSMA NG. Західна Сахара – переважно пустеля, що створює труднощі для осіб, які приймають рішення оперативного і стратегічного планування щодо визначення пріоритетності заходів із розмінування. База даних про протимінну діяльність була надана для дослідницького проекту, який проводив один з авторів UNMAS за ініціативою ООН щодо розмінування.

Запозичуючи досвід Афганістану, було визначено і використано безкоштовні джерела даних для просторового аналізу території Західної Сахари:

- дані щодо небезпеки та зафіксованих нещасних випадків з урахуванням атрибутів IMSMA NG були згенеровані ГІС у вигляді точкового набору даних;
- дані ЦМР ASTER (роздільною здатністю 30 м) через просторовий аналіз ArcGIS забезпечили значення висот, експозицій та кутів нахилу поверхні;
- глобальну карту ґрунтового покриття GlobCover;
- глобальні дані щодо населення LandScan;
- набір гідрологічних даних HydroSHEDS [26] для аналізу річкової мережі, що визначає кількість річок у межах 1 км буфера для кожної небезпеки;
- дані OpenStreetMap для доповнення інформації щодо інфраструктури, водних об'єктів, ґрунтового покриття, землекористувань, точок інтересу (POI).

Кожен з цих наборів даних було перекласифіковано з використанням ваги 0, 1, 2 або 3 (табл. 1), щоб кожен з факторів, що розглядаються, вносив рівний внесок до підсумкової оцінки в системі просторової підтримки прийняття рішень. На основі отриманого балу кожну небезпеку класифікували як високу (10 і більше балів), середню (6-9 балів) або низьку (від 0 до 5 балів) за пріоритетністю. Усе це було зроблено за допомогою конструктора моделей Model Builder в ArcGIS.

Після проведення аналізу, результати системи просторової підтримки та прийняття рішень використано у статистичному програмному пакеті, для проведення частотного аналізу. Застосування таких моделей може додати цінності в процесі прийняття рішень. Крім того, той факт, що вони використовують вільнодоступні джерела даних може зробити значний внесок у підтримку прийняття рішень у країнах з обмеженими ресурсами для отримання дорогих знімків і даних. Розширення цих можливостей до веб- або хмарного рішення розширить функціональність СППР і дозволить використовувати її для інтеграції додаткових джерел даних, якщо це необхідно [27].

Подальші дослідження, проведені в Афганістані, розширили вихідний набір даних СППР додавши три додаткові атрибути для допомоги управлінцям на тактичному й оперативному рівнях під час розробки оперативних планів розмінування: 1) кількість мін, знайдених під час операцій з розмінування; 2) очищена під час операцій площа в м<sup>2</sup>; 3) дані щодо завершення розмінування.

Під час початкового аналізу набору даних, зокрема кількості мін, знайдених під час операцій з розмінування, у 15 % випадків не зафіксовано жодної знайденої міни. Частотний аналіз на регіональному рівні, виявив, що в Західному регіоні було очищено більше небезпечних ділянок, на яких не було зафіксовано жодної міни, ніж очищено ділянок, на яких було виявлено міни. Мета полягала у спробі визначення потенційного набору вихідних атрибутів для використання в регресійній моделі. Спроба визначити

лінійні змінні, які можна було б використовувати для прогнозування виявлення мін під час операцій з розмінування, не дала жодних значущих результатів. Ні одна зі змінних, доступних у наборі даних, не мала сильної кореляції з кількістю знайдених мін або з фактом, що міни були знайдені або не знайдені.

Таблиця 1 – Критерії перекласифікації для вхідного набору даних (за даними [28])

Критерій	Діапазон значень	Вага
Населення	0	0
	1-50	1
	51-100	2
	>100	3
Земельний покрив	200 – відкриті ділянки	1
	150 – розріджена рослинність	3
Ухил місцевості	>15°	1
	11°-15°	2
	0°-10°	3
Експозиція місцевості	рівнинні, західні, південні, південно-східні і південно-західні	0
	східні	1
	північний захід, північний схід	2
	північні	3
Річки / водні басейни	немає річок в радіусі 1 км	0
	1 річка в радіусі 1 км	1
	2 річки в радіусі 1 км	2
	більше 2 річок в радіусі 1 км	3
Інфраструктура	відсутність інфраструктури в радіусі 1 км	0
	1 об'єкт інфраструктури в радіусі 1 км	1
	2 об'єкти інфраструктури в радіусі 1 км	2
	понад 2 об'єкти інфраструктури в межах 1 км	3
Точки інтересу (POI)	немає точок інтересу в радіусі 1 км	0
	1 точка інтересу в радіусі 1 км	1
	2 точки інтересу в радіусі 1 км	2
	понад 2 точки інтересу в радіусі 1 км	3
Ключові особливості	у радіусі 1 км немає ключових особливостей	0
	1 ключова особливість в радіусі 1 км	1
	2 ключові особливості в радіусі 1 км	2
	понад 2 ключові особливості у радіусі 1 км	3
Нещасні випадки	відсутність нещасних випадків у радіусі 5,5 км	0
	один нещасний випадок у радіусі 5,5 км	1
	два нещасних випадків у радіусі 5,5 км	2
	три або більше нещасних випадків у радіусі 5,5 км	3

Відгуки про дослідження, проведені в Західній Сахарі та Афганістані, були позитивними і свідчать про те, що така система на глобальному рівні пов'язана зі стратегічними цілями й буде корисною для осіб, які приймають рішення. Однак були висловлені занепокоєння щодо якості даних і готовності національних органів влади ділитися даними для порівнянь на глобальному рівні.

У тематичному дослідженні для Західної Сахари ГІС як СППР виявилася ефективною, оскільки надала відповідні дані для класифікації і визначення пріоритетності небезпек для розмінування під час розробки стратегічних і оперативних планів розмінування на національному рівні. Наприклад, надання просторової інформації щодо мінних полів, розташованих поблизу шкіл, дозволило програмам протимінної діяльності врахувати пріоритетність цих небезпек для очищення.

У дослідженні [29] пропонується виділяти три категорії землекористування залежно від інтенсивності використання, яке планується в майбутньому. Для кожної категорії землекористування (ЗК-1, ЗК-2, ЗК-3) пропонувано три рівні контролю якості розмінування місцевості – понижений, нормальний і посилений. На кожному рівні визначено умовно допустимі вірогідності очищення. Для пониженого – 0,71 (ЗК-3); 0,81 (ЗК-2); 0,91 (ЗК-1), для нормального – 0,75 (ЗК-3); 0,85 (ЗК-2); 0,95 (ЗК-1) і для



поширеного – 0,79 (ЗК-3); 0,89 (ЗК-2); 0,99 (ЗК-3). Таким чином, при використанні пропорційного способу контролю якості розмінування місцевості вірогідність поширення результатів контрольних спостережень дорівнює 0,1–0,12, а при використанні вибіркового способу контролю довіряча вірогідність у діапазоні 0,89–0,99.

Метод вибіркового контролю дозволяє з великою часткою вірогідності говорити про якість розмінування місцевості. Його теоретично обґрунтовано та підтверджено багаторічною практикою, і автори [29] пропонують його до впровадження в документи з протимінної діяльності підрозділів Збройних сил України.

Топографо-геодезичне і картографічне забезпечення важлива складова національної безпеки і оборони та одне із найбільш вагомих завдань держави. В Україні на державному рівні функціонує Національна інфраструктура геопросторових даних (НІГД). Це комплексне національне рішення для забезпечення простого, оперативного та ефективного доступу до географічної інформації в мережі геопорталів. ІГД – це надскладна система на базі єдиної геодезичної та картографічної основ уніфікує в єдину базу різні важливі просторові дані. На її основі розроблено та успішно експлуатуються геоінформаційні системи для управління та обліку ресурсами територіальних громад.

Протягом 2018-2021 рр. Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру в межах реалізації спільного проєкту з Картографічною службою Королівства Норвегія «Карти для сприяння належному управлінню землями в Україні» створювалася цифрова топографічна карта масштабу 1:50 000 та база топографічних даних на територію України, а вже незабаром 27 січня 2022 р. відбулася її презентація. Триває рух у напрямку інтеграції до геоінформаційного простору Європейського Союзу (програма INSPIRE), розширюється міжнародна співпраця по міжнаціональних та глобальних інформаційних інфраструктурах [30].

У [31] розроблено математичні моделі геоінформаційного аналізу для прогнозування і вироблення рекомендаційних рішень з імовірнісною оцінкою їх ефективності для систем управління територіями. Цим же автором запропонована методологія прийняття рішень за допомогою ГІС в управлінні територіями на основі формального опису ситуацій, що ґрунтуються на нечіткому описі основних елементів. Створення ГІС із поєднанням функцій СППР на локально-територіальному рівні наведено в [32].

**Висновки.** Визначення того, що становить цінність, має неминучий суб'єктивний компонент. В Україні наявні стандартизовані процеси збору та обробки актуальної просторової інформації. Існують приклади систем підтримки прийняття рішень, які можна адаптувати та доповнити враховуючи особливості умов території та актуальних потреб на державному та місцевому рівнях. Комплексно це дозволить оптимізувати процеси гуманітарного розмінування територій, залучати та використовувати більші обсяги донорської допомоги з метою швидшого відновлення ситуації. Подальші перспективи дослідження полягатимуть у розширенні та уточненні наведених у публікації критеріїв перекласифікації з урахуванням природних та соціально-економічних умов України, а також у можливості залучення вільнодоступних джерел просторових даних і ресурсів НІГД.

#### Список використаних джерел

1. Landmine Monitor 2022 [Electronic resource] // LandMine & Cluster Munition Monitor. – 2022. – Accessed mode: [www.the-monitor.org/media/3352351/2022\\_Landmine\\_Monitor\\_web.pdf](http://www.the-monitor.org/media/3352351/2022_Landmine_Monitor_web.pdf).
2. Мірошниченко Б. Десятки років та мільярди доларів. Коли розмінують українські поля та міста? [Електронний ресурс] / Богдан Мірошниченко // Економічна правда. – 2023. – Режим доступу: [www.epravda.com.ua/publications/2023/03/7/697737](http://www.epravda.com.ua/publications/2023/03/7/697737).
3. Горбулін В. Наслідки мінних війн: український зріз / В. Горбулін, С. Мосов. // Оборонний вісник. – 2021. – № 11. – С. 16–23.
4. Cormack D. Landmines and unexploded ordnance will endanger the lives of Ukrainian people for years to come [Electronic resource] / Darren Cormack // The Mines Advisory Group. – 2023. – Accessed mode: [www.maginternational.org/whats-happening/CEO-op-ed-Ukraine-year-anniversary](http://www.maginternational.org/whats-happening/CEO-op-ed-Ukraine-year-anniversary).

5. Петрушко Л. Заміновано пів країни. Правильне розмінування України обійдеться у сотні мільярдів доларів. Хто заробить на небезпечному ринку [Електронний ресурс] / Любов Петрушко // Журнал Forbes Ukraine. – 2022. – Режим доступу: <https://forbes.ua/inside/zaminirovaniy-polstrany-pravilnoe-razminirovanie-ukrainy-budet-stoit-sotni-milliardov-dollarov-kto-zarabotaet-na-opasnom-rynke-27062022-6689>.
6. How many landmines are in the ground worldwide? [Electronic resource] // Dag Hammarskjöld Library. – 2022. – Accessed mode: <https://ask.un.org/faq/14494>.
7. Arguments for the Ban [Electronic resource] // The International Campaign to Ban Landmines. – 2023. – Accessed mode: [www.icbl.org/en-gb/problem/arguments-for-the-ban.aspx](http://www.icbl.org/en-gb/problem/arguments-for-the-ban.aspx).
8. Ворович Б. О. Шляхи вирішення проблемних питань розмінування території України / Б. О. Ворович // Збірник наукових праць центру воєнно-стратегічних досліджень Національного університету оборони України імені Івана Черняхівського. – 2020. – № 2. – С. 143–149. – DOI: <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2020-2-69/143-149>.
9. Paktian F. A Guide to the International Mine Action Standards 2010 [Electronic resource] / Faiz Paktian // GICHD. – 2009. – Accessed mode: [www.gichd.org/fileadmin/GICHD-resources/rec-documents/Guide-to-IMAS-Oct2009.pdf](http://www.gichd.org/fileadmin/GICHD-resources/rec-documents/Guide-to-IMAS-Oct2009.pdf).
10. MacDonald S. Fighting a Tech War against Land Mines [Electronic resource] / Samantha MacDonald // Офіційний сайт компанії ESRI. – 2015. – Accessed mode: [www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/fighting-a-tech-war-against-land-mines](http://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/fighting-a-tech-war-against-land-mines).
11. Гуцул Т. Особливості класифікації та методів вибору БПЛА / Т. Гуцул, І. Жежера, В. Ткач // Технічні науки та технології. – 2022. – № 4(30). – С. 201–212. – DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-201-212](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212).
12. Dorn A. W. Eliminating Hidden Killers: How Can Technology Help Humanitarian Demining? / A. W. Dorn // Stability: International Journal of Security and Development. – 2019. – № 8. – Pp. 1–5. – DOI: <https://doi.org/10.5334/sta.743>.
13. UAV-UGV Cooperative 3D Environmental Mapping / P. Kim, L. Price, J. Park, Y. Cho // ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering. – 2019. – Pp. 1–9. – DOI: [doi/pdf/10.1061/9780784482438.049](https://doi.org/10.1061/9780784482438.049).
14. Lanclos R. Ukraine: The HALO Trust Maps Landmines and Explosive Remnants of War [Electronic resource] / R. Lanclos, O. Cottray // Офіційний сайт компанії ESRI. – 2022. – Accessed mode: [www.esri.com/about/newsroom/blog/halo-trust-maps-ukraine-explosive-remnants](http://www.esri.com/about/newsroom/blog/halo-trust-maps-ukraine-explosive-remnants).
15. Федоренко Г. Аналіз методів і розроблення концепції гарантованого виявлення та розпізнавання вибухонебезпечних предметів / Г. Федоренко, Г. Фесенко, В. Харченко. // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – 2023. – №4(22). – С. 20–31. – DOI: <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.21.020>.
16. Горбулін В. П. Світова глобальна проблема розмінування: український вектор / В. П. Горбулін // Вісник НАН України. – 2022. – № 2. – С. 3–13. – DOI: [doi.org/10.15407/visn2022.02.003](https://doi.org/10.15407/visn2022.02.003).
17. Deep learning in multimodal remote sensing data fusion: A comprehensive review / [J. Li, D. Hong, L. Gao et al.]. // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2022. – № 112. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102926>.
18. Adlešič Đ. The Utilization Potentials of Demined Forest Areas in the Republic of Croatia / Đ. Adlešič, Z. Zobundzija // Book of Papers, 16th International Symposium “Mine Action 2019”. – Šlano, 8 April 2019. Šlano, 2019. – Pp. 52–55.
19. Space assets for demining assistance / [M. Kruijff, D. Eriksson, T. Bouvet et al.]. // Acta Astronautica. – 2013. – № 83. – Pp. 239–259. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2012.08.016>.
20. Priority-Setting in Mine Action: Values, Criteria and Indicators for Priority-Setting in Mine Action // GICHD. – 2011. – Accessed mode: [www.files.ethz.ch/isn/140378/PrioritySet-Brief4-Nov2011.pdf](http://www.files.ethz.ch/isn/140378/PrioritySet-Brief4-Nov2011.pdf).
21. Для первинного розмінування територій України потрібен один рік [Електронний ресурс] // Укрінформ. – 2022. – Режим доступу: [www.ukrinform.ua/rubric-ato/3511896-dla-pervinnogo-rozminuvanna-teritorij-ukraini-potriben-odin-rik.html](http://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3511896-dla-pervinnogo-rozminuvanna-teritorij-ukraini-potriben-odin-rik.html).
22. Проворний С. Як здійснюється розмінування територій: 6 етапів [Електронний ресурс] / Євген Проворний // АрміяInform. – 2022. – Режим доступу: <https://armyinform.com.ua/2022/12/22/yak-zdiysnyuyetsya-rozminuvannya-terytorij-6-etapiv>.
23. Lanclos R. Remnants of War: Smart Maps Help Teams Locate and Remove Land Mines [Electronic resource] / Ryan Lanclos // Офіційний сайт компанії ESRI. – 2020. – Accessed mode: <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/mapping-apps-guide-demining-efforts>.

24. Comparison of spatial and aspatial logistic regression models for landmine risk mapping / C. Schultz, A. Alegría, J. Cornelis, H. Sahli // *Applied Geography*. – 2016. – № 66. – Pp. 52–63. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.005>.

25. Heymans J. M. Effectiveness of GIS as decision support system for mine action / J. M. Heymans. – Woodhouse, University of Leeds, 2015.

26. Lehner B. New global hydrography derived from spaceborne elevation data / B. Lehner, K. Verdin, A. Jarvis. // *EOS Trans Am Geophys Union*. – 2008. – № 89. – Pp. 93–94.

27. Classens A. Dissertation of the development of a spatial multi-criteria decision analysis tool for land clearance prioritisation in mine action / A. Classens. – Woodhouse, University of Leeds, Leeds, 2016.

28. Döllner J. Service-Oriented Mapping. Changing Paradigm in Map Production and Geoinformation Management / J. Döllner, M. Jobst, P. Schmitz. – Potsdam: Springer, 2019. – 434 p. – (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNGC)).

29. Колос Р. Л. Організація виконання робіт з розмінування місцевості від вибухонебезпечних предметів / Р. Л. Колос, Ю. О. Фтемов. // *Військово-технічний збірник*. – 2017. – № 17. – С. 53–60. – DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.17.2017.53-60>.

30. Беспалько Р. Впровадження інфраструктури геопросторових даних за директивою Inspire [Електронний ресурс] / Р. Беспалько, Ю. Ярова // *Технічні науки та технології*. – 2016. – № 2. – С. 67–71. – Режим доступу: <http://tst.stu.cn.ua/article/view/88063>.

31. Зацерковний В. І. Моделі, методи та програмно-технічні засоби геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системах управління територіями : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / В. І. Зацерковний; НАН України, Ін-т пробл. мат. машин і систем. – К., 2013. – 40 с.

32. Атаманюк М. М. Аспекти розробки та використання ГІСППР у землеустрої території Нижньостанівецької сільської ради / М. М. Атаманюк, Т. В. Гуцул, Я. П. Скрипник // *Науковий вісник Чернівецького університету: Географія*. – 2014. – № 696. – С. 61–69.

### References

1. Sherwin, M. (2022). Landmine Monitor 2022. In *LandMine & Cluster Munition Monitor* (No. 978-2-9701476-2-6). *Monitoring and Research Committee*. [https://www.themonitor.org/media/3352351/2022\\_Landmine\\_Monitor\\_web.pdf](https://www.themonitor.org/media/3352351/2022_Landmine_Monitor_web.pdf).

2. Miroshnychenko, B. (2023, March 7). Desiatky rokiv ta miliardy dolariv. Koly rozminuiut ukraïnski polia ta mista? [Tens of years and billions of dollars. When are Ukrainian fields and cities demined?]. *Ekonomichna Pravda – Economic truth*. <https://www.epravda.com.ua/publications/2023/03/7/697737>.

3. Horbulin, V., & Mosov, S. (2021). Naslidky minnykh viin: ukraïnskyi zriz [Consequences of Mine Wars: Ukrainian Case]. *Oboronnyi visnyk – Defense Herald*, 11, 16–23.

4. Cormack, D. (2023, February 24). Landmines and unexploded ordnance will endanger the lives of Ukrainian people for years to come. *MAG. The Mines Advisory Group*. <https://www.maginternational.org/whats-happening/CEO-op-ed-Ukraine-year-anniversary>.

5. Petrushko, L. (2022, June 28). Zaminovano piv krainy. Pravylnе rozminuvannya Ukraïny obiidetsia u sotni miliardiv dolariv. Khto zarobyt na nebezpechnomu rynku [Half of the country is mined. Proper demining of Ukraine will cost hundreds of billions of dollars. Who will make money in a dangerous market]. *Forbes Ukraine*. <https://forbes.ua/inside/zaminirovani-polstrany-pravilnoe-razminirovanie-ukrainy-budet-stoit-sotni-milliardov-dollarov-kto-zarabotaet-na-opasnom-rynke-27062022-6689>.

6. How many landmines are in the ground worldwide? (2022). *Dag Hammarskjöld Library*. <https://ask.un.org/faq/14494>.

7. Arguments for the Ban. (2023). *The International Campaign to Ban Landmines*. <http://www.icbl.org/en-gb/problem/arguments-for-the-ban.aspx>.

8. Vorovych, B. (2020). Ways to solve the problem of demining the territory of Ukraine [Ways to solve the problematic issues of demining the territory of Ukraine]. *Zbirnyk Naukovikh Prats Tsentru Voennostratehichnykh Doslidzhen Natsionalnoho Universitetu Oborony Ukraïny – Collection of scientific works of the Center for Military and Strategic Research of the National Defense University of Ukraine named after Ivan Chernyakhovsky*, 2(69), 143–149. <https://doi.org/10.33099/2304-2745/2020-2-69/143-149>.

9. Paktian, F. (2009). A Guide to the International Mine Action Standards 2010. *GICHD*. <https://www.gichd.org/fileadmin/GICHD-resources/rec-documents/Guide-to-IMAS-Oct2009.pdf>.

10. MacDonald, S. (2015, December). Fighting a Tech War against Land Mines. *Official Page ESRI*. [www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/fighting-a-tech-war-against-land-mines](http://www.esri.com/about/newsroom/arcwatch/fighting-a-tech-war-against-land-mines).

11. Hutsul, T., Zhezhera, I., & Tkach, V. (2023). Features of UAV classification and selection methods [Peculiarities of UAV classification and selection methods]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, (4(30)), 201–212. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4\(30\)-201-212](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2022-4(30)-201-212).

12. Dorn, A.W. (2019). Eliminating Hidden Killers: How Can Technology Help Humanitarian Demining? Stability: *International Journal of Security and Development*, 8(1). <https://doi.org/10.5334/sta.743>.
13. Kim, P., Price, L.C., Park, J., & Cho, Y.S. (2019). UAV-UGV Cooperative 3D Environmental Mapping. *Computing in Civil Engineering*. <https://doi.org/10.1061/9780784482438.049>.
14. Lanclos, R., & Cottray, O. (2022, April 12). Ukraine: The HALO Trust Maps Landmines and Explosive Remnants of War. Official Page ESRI. <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/halo-trust-maps-ukraine-explosive-remnants>.
15. Fedorenko, G., Fsenko, H., & Kharchenko, V. (2022). Analiz metodiv i rozroblennia kontseptsii harantovanoho vvyavleniya ta rozpoznavannya vybukhonebezpechnykh predmetiv [Analysis of methods and development of the concept of guaranteed detection and recognition of explosive objects]. *Suchasnyy stan naukovykh doslidzhen' ta tekhnolohiy v promyslovosti – Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4(22), 20–31. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2022.21.020>.
16. Horbulin, V. (2022). Svitova hlobalna problema rozminuvannya: ukraïnskyi vector [World global demining problem: Ukrainian vector]. *Visnyk NAN Ukrainy – Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 3–13. <https://doi.org/10.15407/vism2022.02.003>.
17. Li J., Hong D., Gao L., Yao J., Zheng K., Zhang B., & Chanussot J. (2022). Deep learning in multimodal remote sensing data fusion: A comprehensive review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112, 102926. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2022.102926>
18. Adlešič D. and Zobundžija Z. (2019). The Utilization Potentials of Demined Forest Areas in the Republic of Croatia. In: Book of Papers, 16th *International Symposium “Mine Action 2019”*, Šlano, Croatia, 8–11 April 2019, 52–55. <http://www.ctro.hr/en/publications/category/34-simpozij-protuminsko-djelovanje-book-of-papers>.
19. Kruijff, M., Eriksson, D., Bouvet, T., Griffiths, A., Craig, M., Sahli, H., ... Ginati, A. (2013). Space assets for demining assistance. *Acta Astronautica*, 83, 239–259. doi:10.1016/j.actaastro.2012.08.016.
20. Priority-Setting in Mine Action: Values, Criteria and Indicators for Priority-Setting in Mine Action. (2011, November). GICHD. <https://www.files.ethz.ch/isn/140378/PrioritySet-Brief4-Nov2011.pdf>.
21. Dlia pervynnoho rozminuvannya terytorii Ukrainy potriben odyń rik. (2022, June 21). Ukrinform [One year is required for primary demining of the territories of Ukraine]. <https://www.ukrinform.ua/rubric-ato/3511896-dla-pervinnogo-rozminuvanna-teritorij-ukraini-potriben-odin-rik.html>.
22. Provorny, Ye. (2022, December 22). Yak zdiisniuietsia rozminuvannya terytorii: 6 etapiv [How demining of territories is carried out: 6 stages]. *ArmiiaInform*. <https://armyinform.com.ua/2022/12/22/yak-zdiisnyuyetsya-rozminuvannya-teritorij-6-etapiv>.
23. Lanclos, R. (2020, March 4). Remnants of War: Smart Maps Help Teams Locate and Remove Land Mines. *Official Page ESRI*. <https://www.esri.com/about/newsroom/blog/mapping-apps-guide-demining-efforts>.
24. Schultz, C., Alegia, A.C., Cornelis, J., & Sahli, H. (2016). Comparison of spatial and a spatial logistic regression models for landmine risk mapping. *Applied Geography*, 66, 52–63. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.11.005>.
25. Heymans, J.M. (2015). *Effectiveness of GIS as decision support system for mine action*. University of Leeds.
26. Lehner, B., Verdin, K., Jarvis, A. (2008). New global hydrography derived from spaceborne elevation data. *EOS Trans Am Geophys Union*, 89(10), 93–94.
27. Classens, A. (2016). *Dissertation of the development of a spatial multi-criteria decision analysis tool for land clearance prioritisation in mine action*. University of Leeds.
28. Döllner, J., Jobst, M., Schmitz, P. (2019). *Service-Oriented Mapping. Changing Paradigm in Map Production and Geoinformation Management*. Potsdam: Springer. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography (LNGC)).
29. Kolos, R. L., & Ftemov, Y. O. (2017, November 9). Orhanizatsiya vykonannya robot z rozminuvannya mistsevosti vid vybukhonebezpechnykh predmetiv [Organization of works on demining the area of explosive ordnance]. *Viiskovo-tekhnichnyy zbirnyk – Military and technical collection*, 17, 53–60. <https://doi.org/10.33577/2312-4458.17.2017.53-60>.
30. Bespalko, R., & Yarova, Y. (2016). Vprovadzhennya infrastruktury heoprosorovykh danykh za dyrektyvoyu Inspire [Implementation of geospatial data infrastructure by the INSPIRE directive]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, 2(4), 72–76. <http://tst.stu.cn.ua/article/view/88063>.

31. Zatserkovnyi, V. (2013). *Modeli, metody ta prohramno-tekhniczni zasoby heoinformatsiinoi pidtrymky pryiniattia rishen u systemakh upravlinnia terytoriiamy [Models, methods and software and technical means of geo-information decision-making support in territory management systems]* [Abstract of the dissertation of the Doctor of Technical Sciences]. NAN Ukrainy, In-t probl. mat. mashyn i system.

32. Atamaniuk, M., Hutsul, T., & Skrypnyk, Ya. (2014). *Aspekty rozrobky ta vykorystannia HISPPR u zemleustroi terytorii Nyzhnostanivetskoj silskoi rady [Aspects of the development and use of GISPPR in the land management of the territory of the Nizhnyostanivetsk village council]*. *Naukovyi Visnyk Chernivetskoho Universytetu: Heohrafiia – Scientific Bulletin of the University of Chernivtsi: Geography*, 696, 61–69.

Отримано 16.03.2023

UDC 623.644.2 +623.365

**Ruslan Bespalko<sup>1</sup>, Taras Hutsul<sup>2</sup>, Ivan Kazimir<sup>3</sup>, Kateryna Myronchuk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor Technical Sciences, Professor,  
Chief of the Department of Geomatics, Land Management and Agricultural Management  
Educational and Scientific Institute of Biology, Chemistry and Bioresources  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernivtsi, Ukraine)

E-mail: [r.bespalko@chnu.edu.ua](mailto:r.bespalko@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1225-852X>  
ResearcherID: [E-2956-2016](https://orcid.org/0000-0003-1225-852X)

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Senior Research Fellow  
Educational and Scientific Institute of Biology, Chemistry and Bioresources  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernivtsi, Ukraine)

E-mail: [t.gutsul@chnu.edu.ua](mailto:t.gutsul@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7192-3289>  
ResearcherID: [R-8012-2017](https://orcid.org/0000-0002-7192-3289)

<sup>3</sup>PhD in Biological Science, Associate Professor  
Associate Professor of the Department of Geomatics, Land Management and Agricultural Management  
Educational and Scientific Institute of Biology, Chemistry and Bioresources  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernivtsi, Ukraine)

Email: [i.kazimir@chnu.edu.ua](mailto:i.kazimir@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8362-4676>  
ResearcherID: [E-2972-2016](https://orcid.org/0000-0001-8362-4676)

<sup>4</sup>PhD in Agricultural Sciences, Assistant of the department of geomatics, land management and agricultural management  
Educational and Scientific Institute of Biology, Chemistry and Bioresources  
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University (Chernivtsi, Ukraine)

Email: [k.myronchuk@chnu.edu.ua](mailto:k.myronchuk@chnu.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5462-6226>  
ResearcherID: [E-1635-2016](https://orcid.org/0000-0001-5462-6226)

## MODERN APPROACHES TO ASSESSING THE PRIORITY OF HUMANITARIAN DEMINING

*The problem of mine danger has existed for several centuries, and its scale is constantly growing. With the start of a full-scale war, according to the UN, Ukraine became the most mined country in the world. Such a situation comprehensively worsens the level of security, the state of the environment, and makes it impossible to restore the economy.*

*Estimated costs for demining the contaminated territory of Ukraine are estimated at 400 to 900 billion dollars. None of the countries that were faced with the need to demine territories after the end of hostilities could solve this problem on their own, only at the expense of budget funds.*

*Current proposals for demining territories are determined based on the instructions of the National Mine Action Authority and local authorities.*

*To substantiate the sequence of demining territories using geo-informational tools and decision support systems.*

*The experience of support systems for decision-making on the priority of demining territories on the example of Western Sahara and Afghanistan is considered. Freely available sources of geospatial data, criteria for working with spatial data are given. The state of the National Geospatial Data Infrastructure, its integration into the European Union Geoinformation Space (INSPIRE) and its capabilities for humanitarian demining are revealed.*

*It is advisable to supplement the studies carried out in Ukraine on determining the optimal directions of land use with humanitarian demining data and materials of the National Infrastructure of Geospatial Data. This will allow optimizing the processes of demining territories, speeding up the recovery of the economic situation and the possibility of attracting larger amounts of donor aid.*

**Keywords:** GIS; remote sensing; mapping; monitoring; demining; DSS.

*Fig.: 1. Table: 1. References.: 32.*

**Оксана Бердник<sup>1</sup>, Сергій Виговський<sup>2</sup>, Олексій Ларченко<sup>3</sup>, Катерина Виговська<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технології будівельних конструкцій і виробів

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [kсениareznik87@gmail.com](mailto:kсениareznik87@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Scopus Author ID: [57214230362](https://orcid.org/57214230362)

<sup>2</sup>аспірант кафедри технології будівельних конструкцій і виробів, операційний директор ТОВ «Гранд Бетон»

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [production.dep@grandbeton.com.ua](mailto:production.dep@grandbeton.com.ua). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

<sup>3</sup>засновник ТОВ «Гранд Бетон» (Київ, Україна)

E-mail: [o.larchenko@grandbeton.com.ua](mailto:o.larchenko@grandbeton.com.ua). ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2968-4228>

<sup>4</sup>магістр

Київський національний університет будівництва і архітектури (Київ, Україна)

E-mail: [katrina1405@ukr.net](mailto:katrina1405@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/000-0002-5065-9618>

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ СКЛЯНОГО БОЮ В БЕТОННОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Із розвитком світової індустріалізації широкого розповсюдження набули відходи скляного бою. Скляний бій не розчинний матеріал у природньому середовищі, але досить перспективний матеріал для застосування при виробництві будівельних матеріалів. На сучасному етапі економічного розвитку країни до найбільш важливих питань, що визначають рівень і прискорення науково-технічного прогресу в промисловості, є зниження матеріало- та енергоємності, підвищення якості існуючих і розробка нових ефективних матеріалів, за умови широкого використання промислових відходів. У цій статті описано проведені дослідження із застосування скляного бою у виробництві цементу для підвищення експлуатаційних характеристик.

**Ключові слова:** відсортоване скло; тонкодисперсний скляний порошок; бетон; гідроокисльні іони; відходи скла; АДМ; мікроструктура; ресурсозбереження; скляний порошок.

Рис.: 2. Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** У статті представлено результати науково-методичного дослідження. Питання ресурсозбереження і вторинної переробки сировини дуже гостро стоїть у світі. У результаті індустріалізації та урбанізації щорічно по всьому світу утворюється кілька мільйонів тон відходів скла. Основними джерелами відходів скла є відходів контейнери, екрани вікон, віконне скло, люмінесцентні лампи, лампочки, електронне обладнання, медичні пляшки та пляшки з-під алкогольних напоїв [1]. Більшість відходів скла направляється на сміттєзвалище через домішки, які складно видалити, високі витрати на доставку до заводів із виготовлення скла або змішані відходів потоки різних кольорів, які важко розділити на корисні сировинні запаси скла. Оскільки скло – нерозчинний матеріал, то захоплення таких відходів є недоцільним і не екологічним рішенням. Технологічним підґрунтям для створення матеріалів із додаванням відходів скляного бою слугувало те, що скло за хімічним складом подібний до осадових та метаморфічних порід, а отже, може застосовуватися у виробництві будівельних матеріалів. Тому використання відходів скла в будівельній промисловості є одним із найбільш привабливих шляхів утилізації, оскільки це може забезпечити велику кількість споживання цих матеріалів [2].

**Постановка проблеми.** Оскільки скло не розкладається природним чином, відходи, що утворюються сьогодні, залишатимуться в навколишньому середовищі сотні, а можливо й тисячі років. Відходи скла не розкладаються легко самі по собі, тому це насамперед не тільки екологічно шкідливо, а й небезпечно [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як за даними міжнародних досліджень, так і досліджень, проведених в Україні, відходи скляного бою можна використовувати в бетонах як заміна щебню від 20-100 % (без втрат фізико-механічних характеристик), часткова заміна цементу та піску, використання скляного порошку (пудри) як активно мінеральної добавки (АМД) [3].

Так, у 60-х роках ХХ століття було проведено багато досліджень з використанням скляного порошку як заповнювача для виробництва бетону [3]. Однак у процесі дослідження, яке тривало з 1963 року і було спрямоване на виробництво архітектурного бетону, виявилось, що бетони з додаванням відходів скляного бою тріскаються. За великого

вмісту скла може виникнути шкідлива лужно-кремнеземна реакція (ASR) в бетоні. ASR є явищем, залежним від поверхні, і створює гель, який при зволоженні набуває об'єму, що призводить до тріщин та зниження міцності. Розширення може бути зменшене, якщо скло розмелено до розміру частинок 300 мкм або менше, тому доцільно розглядати саме часткову заміну цементу. Мелений скляний порошок може діяти як АМД, формуючи С-S-H та підвищуючи міцність та довговічність бетону завдяки високому вмісту кремнезему в скляному порошок [1; 4]. Утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію підтверджено даними досліджень, проведених в Україні [4].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням вибору і проектування саме створення бетонів з додаванням відходів скляного бою є перспективним напрямом у сфері будівництва. Оскільки додавання скляного бою, підвищує фізико-механічні властивості створюваних матеріалів. Крім того, нині в Україні немає виробництв бетону промислового характеру, які застосовують відходи скляного бою у виробництві.

**Метою статті** дослідження доцільності використання відходів скляного бою у виробництві бетонів, перевірка можливостей використання у виробництві, пошук за і проти використання відходів скляного бою в будівельній промисловості, визначення сфери застосування цих матеріалів.

**Виклад основного матеріалу.** Технологічні кроки підготовки скляних відходів до подальшого спрямування у виробництва залежно від розміру часток вказані на рис. 1.

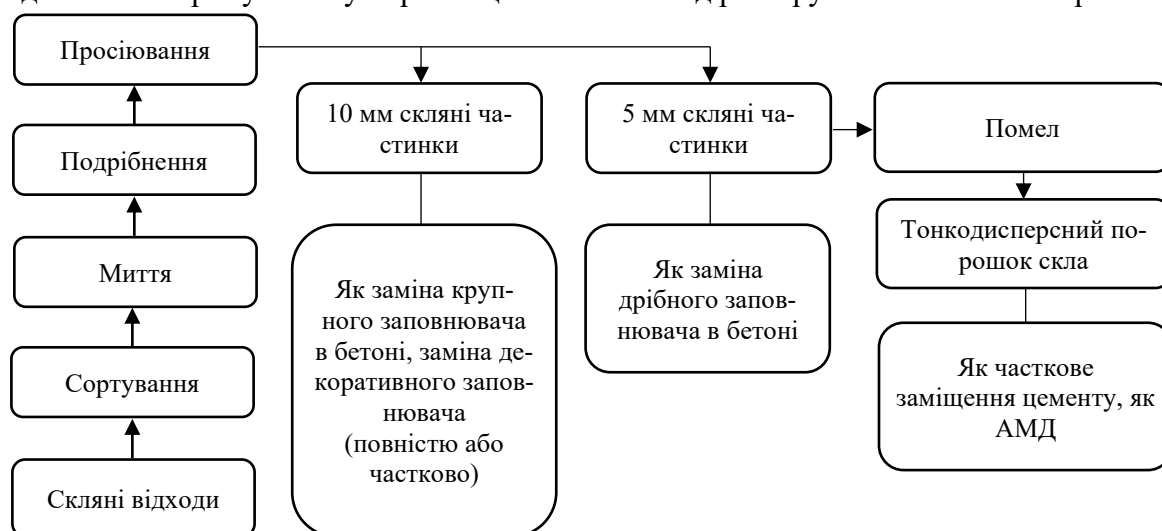


Рис. 1. Технологічна схема отримання скляного продукту

Після збору відсортоване скло відправляється до обробних підприємств для миття та подрібнення. Потім відходи скла просіюються на частинки розміром 10 та 5 мм для різних цілей. Скло частки розміром 10 мм здебільшого використовується як заміник крупного заповнювача, тоді як скло розміром 5 мм використовується як заміник дрібного заповнювача (піску). Нарешті, дрібні частки розмелюються, щоб виготовити тонкодисперсний скляний порошок, який має мінімальне водопоглинання та стійкість до дії високих температур без погіршення фізико-механічних характеристик. Тонкодисперсний скляний порошок із розміром часток від 75 до 150 мкм має найбільш доцільне використання як АМД для заміни цементу в бетоні [4].

У сфері архітектурного та декоративного бетону перероблене скло має вражаючі характеристики завдяки естетичним властивостям відходів скла. Використовуючи різні розміри скла можна досягти кращої естетичної концентрації. Лінг та Пун (2011) продемонстрували, що використання частинок розміром від 2,36 до 5 мм або від 5 до 10 мм може значно підвищити естетичну цінність архітектурного бетону [5].

*Тонкодисперсний порошок скла як АМД.*

АМД – активна мінеральна добавка - речовина, здатна при змішуванні з вапном і водою утворювати пластичне тісто, яке набирає міцність не тільки на повітрі, але і в воді. Активні мінеральні добавки містять у своєму складі оксид кремнію в аморфному стані ( $\text{SiO}_2$ аморф). Аморфний стан, будучи хімічно активним, дозволяє АМД вступати в хімічні реакції.

ASR пов'язане з розширенням цементного продукту через реакцію гідроксильних іонів у цементі з кремнієвим сполукам у заповнювачі. У процесі гідратації пуцоланова реакція відходів скла споживає гідрати цементу (портландит або  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) та заповнює раніше утворену порову структуру С-S-H, створюючи таким чином більш щільну порову структуру та відповідно підвищуючи міцність цементних матеріалів. Дрібнозернисті відходи скла містять оксид кремнію,  $\text{SiO}_2$ , який може реагувати з гідроксидом кальцію ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), утвореним під час гідратації, а пуцоланові реакції виробляють більше С-S-H та зменшують кількість гідроксиду кальцію [5].

Дослідження мікроструктури вказують на те, що порошок відходів скла утворює щільну матрицю і покращує властивості міцності. Так, на основі досліджень, доведено можливість використання порошку скляного бою як активної мінеральної добавки, що впливає на кінетику набору міцності при стиску та процеси структуроутворення матеріалу. За результатами досліджень були виявлені високі міцнісні характеристики штучного цементного композиту з введенням 40 % гранульованого доменного шлаку та від 5 до 15 % тонкодисперсного скляного порошку, з показниками міцності 30...106 МПа на 2...90 добу тверднення.

Високі значення міцності пояснюються, тим що за рахунок взаємодії склофази гранульованого доменного шлаку і склопорошкової складової в'язучої речовини з портландитом у бік утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію, гідрогранатів і цеолітоподібних кальцієвих гідроалюмосилікатів (на рис. 2 – фото мікроструктур цементного каменю).

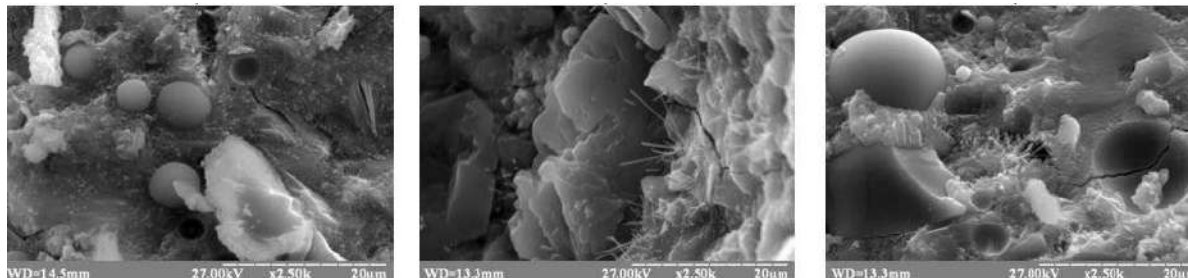


Рис. 2. Електронні мікрофотографії поверхні сколу штучного каменю на основі шлакопортландцементу з вмістом оптимальної кількості шлаку (40 %) на 28 добу тверднення, модифікованого відходами скляного бою в кількості, 5; 10; 15 % відповідно

Автори пропонують дані склади застосовувати для отримання бетонів спеціального призначення з прискореною кінетикою набору міцності як на початкових, так і на пізніх етапах твердіння, а також захисних покриттів для бетону[6].

**Висновки.** У цій роботі показана доцільність утилізації відходів скляного бою шляхом впровадження їх при виробництві сумішей бетонних та бетонів. Крім того, доведено, залежність властивостей склопорошку від розміру частинок, а також, що тонкодисперсний склопорошок можна використовувати як АМД при виготовленні в'язучих композицій. Усе вищезазначене відкриває нові можливості при створенні бетонів спеціального призначення, захисних покриттів та декоративного архітектурного бетону.

**Список використаних джерел**

1. Разработка защитных материалов на основе стекло- и шлакосодержащих портландцементных композиций / О. П. Бондаренко, С. Г. Гузий, Е. Д. Захарченко, Е. Д. Новоселенко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – № 6/11(78). – С. 41-47. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56577.



2. Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products / N. Tamanna, N. Mohamed Sutan, D. T. C. Lee and I. Yakub, Ozkan O, Yuksel I. // *Construction and Building Materials*. – 2008. – Vol. 22(6). – Pp. 1288–98.

3. Особливості процесів гідратації та структуроутворення шлакопортландцементів, модифікованих відходами скляного бою / О. П. Бондаренко, О. А. Москаленко, К. Д. Захарченко, Є. Д. Новоселенко // *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2016. – Вип. 63. – С. 110-116.

4. Ling T.C. Feasibility of using recycled glass in architectural cement mortars / T. C. Ling, C. S. Poon, S. C. Kou // *Cement and Concrete Composites*. – 2011. – Vol. 33(8). – Pp. 848–54.

5. Eldagal O.E.A. Study on the Behaviour of High Strength Palm Oil Fuel Ash (POFA) Concrete”. M. Engineering Thesis (Civil and Structure) / O.E.A. Eldagal. – Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia, 2008.

6. Performance of concrete made with steel slag and waste glass / Xin Yu, Zhong Tao, Tian-Yi Song, Zhu Pan // *Construction and Building Materials*. – 2016. – Vol. 114. – Pp. 737-746.

### References

1. Bondarenko, O.P., Guziy, S.G., Zakharchenko, E.D., & Novosenko, E.D. (2015). Novosenko Development of protective materials based on glass- and slag-containing Portland cement compositions. *Eastern European Journal of Advanced Technologies*, (6/11(78)), 41-47. doi: 10.15587/1729-4061.2015.56577.

2. N. Tamanna, N. Mohamed Sutan, D. T. C. Lee and I. Yakub, Ozkan O., & Yuksel I. (2008). Studies on mortars containing waste bottle glass and industrial by-products. *Construction and Building Materials*, 22(6), 1288–98.

3. Bondarenko, O.P., Moskalenko, O.A., Zakharchenko, K.D., & Novosenko, E.D. (2016). Peculiarities of the processes of hydration and structuralization of slag Portland cements, modified by the outputs of clay battle. *Bulletin of the Odessa State Academy of Life and Architecture*, 63, 110-116.

5. Eldagal, O.E.A. (2008). Study on the Behaviour of High Strength Palm Oil Fuel Ash (POFA) Concrete [Engineering Thesis (Civil and Structure), Universiti Teknologi Malaysia].

6. Xin Yu, Zhong Tao, Tian-Yi Song, Zhu Pan (2016). Performance of concrete made with steel slag and waste glass. *Construction and Building Materials*, 114, 737-746.

Отримано 06.02.2023

UDC 691.3:691.5

**Oksana Berdnyk<sup>1</sup>, Serhii Vyhovskyi<sup>2</sup>, Oleksii Larchenko<sup>3</sup>, Kateryna Vyhovska<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Scientific Research Institute for Binders and Materials Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [kсениарезник87@gmail.com](mailto:kсениарезник87@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5321-3518>

Scopus Author ID: [57214230362](https://orcid.org/57214230362)

<sup>2</sup>postgraduate Scientific Research Institute for Binders and Materials, operations director «Grand Beton» Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [production.dep@grandbeton.com.ua](mailto:production.dep@grandbeton.com.ua). ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5898-1200>

<sup>3</sup>founder «Grand Beton» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [o.larchenko@grandbeton.com.ua](mailto:o.larchenko@grandbeton.com.ua). ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2968-4228>

<sup>4</sup>Master

Kyiv National University of Construction and Architecture (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [katrina1405@ukr.net](mailto:katrina1405@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/000-0002-5065-9618>

### USE OF WASTE FLOAT GLASS IN CONCRETE PRODUCTION

*The issue of resource conservation and secondary processing of raw materials is quite acute in the world. With the development of world industrialization and urbanization, the use of glassware became widespread. Glass block is not a soluble material in the natural environment, but it is a promising material for use in the production of building materials.*

*The objective needs of production development led to the creation of new materials with increased values of physico-mechanical and special properties. At the current stage of the country's economic development, one of the most important issues that determine the level and acceleration of scientific and technological progress in industry is the reduction of material and energy intensity, the improvement of the quality of existing materials and the development of new effective materials, subject to the wide use of industrial waste.*

*Rational use of blast furnace slag is an important reserve for increasing the efficiency of metallurgical and cement production. Blast furnace slags are a complete product for the production of construction materials, they are widely used in road construction and agricultural purposes. In the production of cement, granulated blast furnace slag is used as an active hydraulic additive and, in a small amount, as one of the components of the raw material mixture.*

*The purpose of the article is to investigate the feasibility of using glass waste in the production of concrete, check the possibilities of use in production, search for and against the use of glass waste in the construction industry, and determine the scope of application of these materials.*

*Based on the principles and approaches of microstructure research, the research methodology and the possibility of using glass bottle powder as an active mineral additive, which affects the kinetics of compressive strength gain and material structure formation processes are presented.*

*In the work, for the first time, a general approach to the functional analysis of the technological process of cement production with the addition of impurities in the form of glass bottle is proposed. The presented materials can be used for the reasonable selection or design of concrete mixes for road surfaces and building reconstruction.*

**Keywords:** sorted glass; finely dispersed glass powder; concrete; hydroxide ions; ADM; microstructure; resource saving; curing powder.

*Fig.: 2. References: 6.*

*Андрій Коломієць<sup>1</sup>, Остап Котовський<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих комплексів поліграфічного і пакувального виробництва  
Українська академія друкарства (Львів, Україна)

E-mail: [kolanbor@gmail.com](mailto:kolanbor@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6441-0234>. ResearcherID: [rid48897](https://orcid.org/0000-0001-6441-0234)

<sup>2</sup>аспірант

Українська академія друкарства (Львів, Україна)

E-mail: [os.kotovskiy@gmail.com](mailto:os.kotovskiy@gmail.com)

## УТВОРЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ФОРМИ ПАКОВАНЬ ТУНЕЛЬНИМ МЕТОДОМ: ОБЛАДНАННЯ І ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ

*У роботі представлено інформацію про особливості завершальної операції з утворення картонної тари, готової до пакування продукції. Розглянуто процес утворення об'ємної форми коробок і лотків з плоских розгортток шляхом одночасного або почергового згинання їхніх клапанів, що є основою тунельного методу. Виконано аналіз обладнання, що здійснює процес формування пакувань, визначено основні й допоміжні функції, описана будова і робота його різновидів. Класифіковано машини-автомати, що здійснюють процес формування пакувань за відповідними ознаками, а також їхніх модулів. Запропоновані перспективні шляхи їхнього удосконалення. Стаття є публікацією науково-методичного характеру.*

**Ключові слова:** картон; заготовка; об'ємна форма; тара; машина; класифікація; привод.

Рис.: 4. Табл. 2. Бібл.: 13.

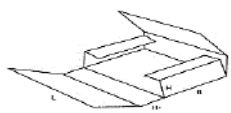
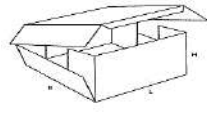
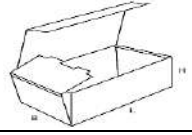
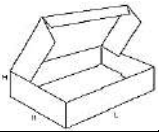
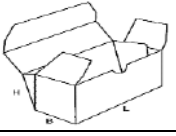
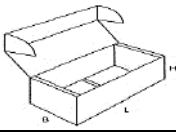
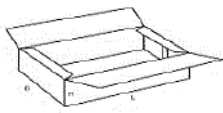
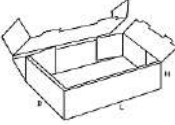
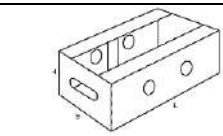
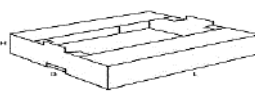
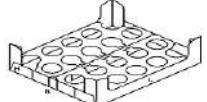
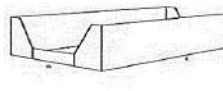
**Актуальність теми дослідження.** Картонна тара є найбільш важливим, а в певних умовах – єдиною можливим елементом пакування і являє собою виріб для розміщення продукції, виконаний у вигляді замкнутого або відкритого корпусу. Тара є кінцевим продуктом виробництва, здійснює функцію пакування самостійно або у поєднанні з допоміжними пакувальними засобами [1]. Картонна тара поділяється на класи: споживча, транспортна, виробнича й консервувальна. Таке картонне пакування найбільш економічне, забезпечує ефективні умови обігу та розподілу продукції, також раціональну переробку й утилізацію відходів пакування [2]. Транспортна тара поділяється на ящики, барабани, бочки тощо. Класифікація враховує стабільність розмірів тари (тверда, напівтверда, м'яка); компактність (розбірна, нерозбірна, складна), інші конструктивні ознаки. Оперативне виробництво картонної тари, її фасування продукцією, переміщення і збереженість є вагомим фактором успішних логістичних дій.

**Постановка проблеми.** Кінцевою операцією створення тари з гофрокартону є її об'ємне формування. Розрізняють формування з плоскої або попередньо складено-з'єднаної розгортки. Першим методом виготовляють лотки, шоу-бокси, другим – ящики, коробки тощо. Об'ємне формування з плоскої розгортки здійснюють для наступних видів продукції: коробка, лоток, рексим, трей-тай, експресо [1]. Об'ємне формування може супроводжуватись з'єднанням клапанів складеної гофрокартонної тари за допомогою механічних замків, клеєм або клейовими стрічками.

Виробники пакувань і тари використовують бібліотеку FEFCO як галузевий довідковий посібник для усіх видів робіт з виготовлення пакувань з гофрованого картону згідно [3]. Головні вимоги до матеріалів і конструкції таких пакувань встановлені у ДСТУ 2890-94. «Тара і транспортування. Терміни та визначення» [4]. Згідно з класифікацією каталогу FEFCO всі конструкції ящиків та їхніх елементів розділені на вісім основних груп. Наприклад, до групи 04 належать обгорткові ящики та більшість штампованих ящиків, що збираються за допомогою язичкових з'єднань без клею, скоб, липких стрічок та інших допоміжних матеріалів.

Представлені в табл. 1 види гофрокартонної тари формуються методом прошивання плоскої аркушевої розгортки у «тунель» з нерухомими або рухомими інструментами, де майже всі клапани послідовно або одночасно згинаються на кут 90°. Проте є види тари, де необхідно згинати клапани на інші кути.

Таблиця 1 – Приклади пакувань групи 04xx FEFCO, що утворюються об'ємним формуванням

Ящики					
0401		0406		0421	
0429		0444		0471	
Лотки					
0415		0425		0432	
0436		0446		0460	

Здійснення процесу об'ємного формування тунельним методом полягає в наступному (рис. 1). Картонна заготовка захоплювачами по напрямних подається до зони дії формувальних інструментів (стадія I).

Пуансон за допомогою пневмоциліндра або механічного привода проштовхує горизонтальною пластиною (колодкою) картонну заготовку в матрицю (стадія II). Транспортована пуансоном пласка картонна заготовка трансформується всередині матриці у об'ємну форму картонної коробки шляхом одночасного загинання частини її клапанів (стадія III). У першу чергу загинаються торцеві стінки коробки на 90° за допомогою встановлених у вікні плити напрямних (стадія IV). Потім, у міру просування заготовки, напрямні «тунелю» прямою ділянкою робочої поверхні притискають клапан до торцевих стінок.

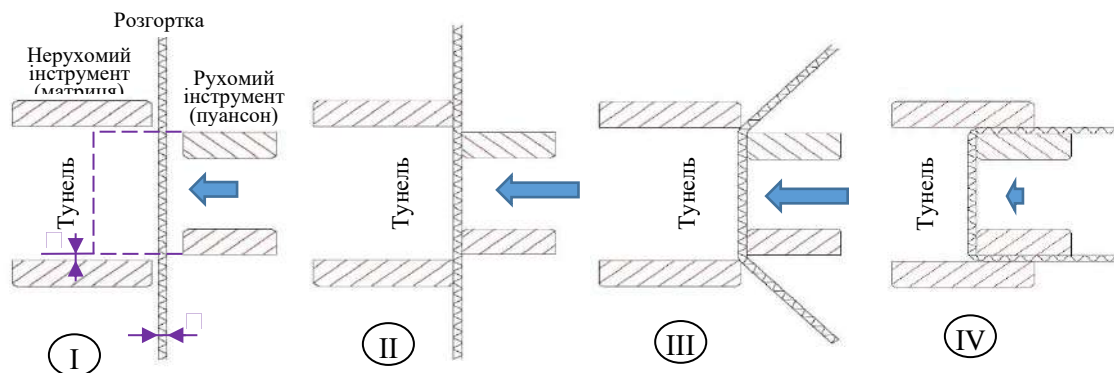


Рис. 1. Процес формування коробки в матриці

Не притиснута частина клапана, проходячи вільний простір, потрапляє в розкритий отвір замка за допомогою інших напрямних «тунелю», вигнутих під гострим кутом, які загинають бічні стінки коробки на 90°. Сформована таким чином картонна коробка проштовхується пуансоном у матриці з необхідною швидкістю, пов'язаною з висотою напрямних. Після закінчення формування коробки здійснюється зворотний хід пуансона. Сформована картонна коробка звільняється від затиску в напрямних матриці. Після повного виходу пуансона сформована картонна коробка падає на приймальний пристрій. Далі цикл повторюється.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У світі цей метод відомий з 1960-х років, його постійно удосконалюють [5]. На теренах України обладнання для формування картонних коробок розроблялось та виготовлялось з 1970 років. Відома з [6] лінія продук-

тивністю 250-600 кг/год призначена для фасування риби у картонні коробки. Дослідницькі роботи в цьому напрямку проводились у СКТБ «Техноприлад» [7], де запропонована конструкція машини, подібна до тогочасних зразків західної техніки. У ґрунтовній праці В. А. Благодарського [8] систематизовані дані про структуру та конструкцію приводів багатьох тогочасних пакувальних машин.

Дослідження явищ, що відбуваються з паперовим або картонним матеріалом під час трансформації його з аркушевого напівфабрикату в об'ємну структуру контейнера або коробки, відомі з публікацій учених здебільшого скандинавських країн [9; 10]. Базами цих досліджень є відповідно Лундський університет (Швеція) та Університет Тарту (Фінляндія).

В Україні поштовх для відновлення досліджень у формоутворенні тари надали роботи вчених НУХТ (м. Київ) під керівництвом проф. О. М. Гавви [11], пов'язані з удосконаленням пакувального обладнання. У роботі [12] ними запропоновані шляхи удосконалення обладнання, призначеного для упакування та транспортування продукції в основному харчової і фармацевтичної промисловості.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** З одного боку, існує багато ґрунтовних робіт, пов'язаних з явищами й обладнанням для згинання плоских аркушевих картонних і паперових матеріалів у післядрукарських процесах. З іншого боку, як зазначено вище, існують дослідження, спрямовані на удосконалення пакувального обладнання. Об'єднання цих двох напрямків у єдине дослідження заважає відсутні натежер опис будови, класифікації обладнання і його компонентів. Невідомими є порівняльні зіставлення існуючі пристроїв об'ємного формоутворення картонної тари за енергосиловими параметрами процесу та умовами отримання якісної продукції.

**Метою статті** є аналіз наявного технологічного обладнання для утворення об'ємної форми тари і пакувань, виявлення його функціональних можливостей та будови, класифікувати згадане обладнання та його складових за ознаками, що найбільше впливають на надійність його роботи та конкурентоздатність, запропонувати шляхи удосконалення його основних пристроїв.

**Виклад основного матеріалу.** В англійських джерелах інформації продукція, що складена з плоских гофрокартонних розгортки, ідентифікується як tray (лотки), а відповідне обладнання відоме як tray erector або tray former. Обладнання для формування коробок із складено-з'єднаних заготовок на відміну від case erector для.

У світі існує багато виробників формувальників картонної тари, більшість з них базуються у розвинених країнах (США, Італія, Франція тощо). Велика частка обладнання для формування лотків і коробок виготовляється італійськими фірмами або міжнародними консорціумами, що мають штаб-квартири в Італії. Перелік найбільш відомих виробників і моделей формувальників подано в табл. 2.

Таблиця 2 – Виробники і моделі сучасного обладнання для об'ємного формування картонної тари

Фірма	Країна	Моделі обладнання
SIAT	Італія	F144 / F144-4 / F145 / F146, F344 / F344-4 / F345 / F346 та F44
COMARME	Італія	F2000
Imballaggi Service Group	Італія	Ultra Form 30 T
Imanpack Packaging and Eco Solutions S.p.A.	Італія	TRF 2000 / MTRF 2000
Lantech.com Cooperatie U.A.	Нідерланди	TE-1000 / TE-2000
Verpama AG	Швейцарія	SWF TrayFormer Classic / LM
Meca-systeme SNP	Франція	BMF 05 PF/GF; BMF 20.3/20.5 /30.3/30.5/40.3/40.5; MS 40/60/80 B; MS 4 B / MS 6 B
Groupe MG-Tech	Франція	D Pack SpeedBox
Kliklok-Woodman	США	TransFormer, Genesis, KFW, ECT-625, SR4W
Extend	Тайвань	EXC-107
Youngsun	Китай	CF-20T

Формувальники гофрокартонних коробок можуть працювати як у складі автоматизованих ліній, так і як операційне обладнання. Продуктивність машин змінна. Дійсна швидкість залежить від конфігурації машини та розмірів заготовок з картону й виду лотків. Автоматичні формувальники гофрокартонних коробок в стані формувати до 70 коробів за хвилину (залежно від габаритів та конструкції).

Таке обладнання має велику продуктивність, є енергоощадним, виключає ручну працю, економне у використанні виробничої площі. Тому воно незамінне як на підприємствах з великими обсягами продукції, логістичних центрах, складах, так і на невеликих аграрних та харчових підприємствах.

Основними механізмами в них є: магазин самонакладу гофрокартонних розгорток; привод переміщення присмоктувачів; привод горизонтального переміщення розгорток (як опція); привод переміщення пуансона-формувача; тунелю і вивідного транспортера.

Аналіз схем типового обладнання для об'ємного формування гофрокартонних коробок та лотків, що поширені у світі, виявляє, що всі ці машини побудовані за модульним принципом (рис. 2).

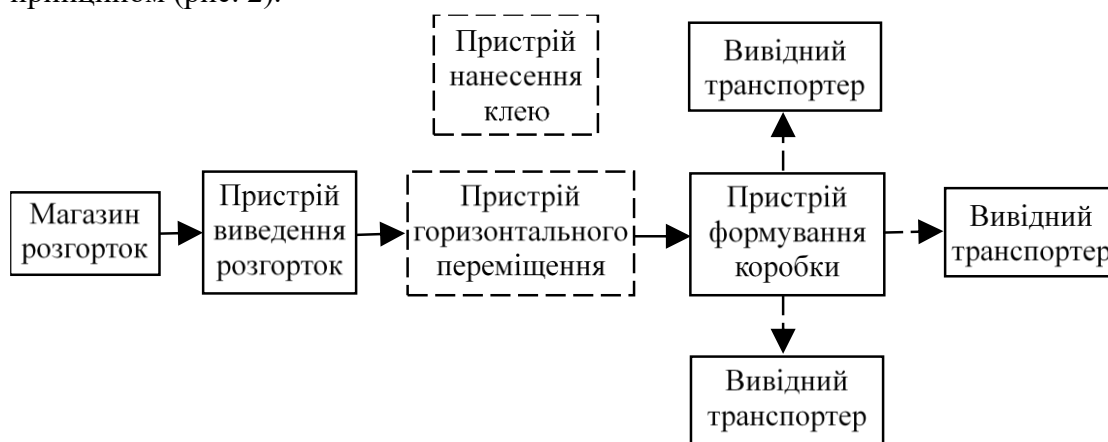


Рис. 2. Схема обладнання для об'ємного формоутворення паковань

Класифікація обладнання та його складників можлива за декількома ознаками.

Магазини-накопичувачі розгорток поділяються: за місткістю – малі, звичайні, підвищені; за габаритами розгорток; за розташуванням магазину – вертикальний, горизонтальний; за розташуванням – нижній, верхній, боковий. Пристрої виведення розгорток з магазину поділяються: за розташуванням – на верхні, нижні, бокові; за рухом присмоктувачів – зворотно-поступальний, хитний, обертовий.

Пристрої горизонтального переміщення розгорток поділяються: за типом привода – на механічний, пневматичний, серво-; за структурою механізму – важільний, комбінований механізм, гвинтова пара.

Пристрої нанесення клею поділяються на: контактні (роликові), безконтактні (струминні). Вивідні транспортери поділяються на: пасові, роликові, ланцюгові, пасові двосторонні.

Формувальні інструменти поділяються за такими ознаками:

а) способом утворення об'ємної форми: з рухомими інструментами під час зупинки розгортки; з рухомими і нерухомими інструментами під час переміщенні розгортки.

б) виглядом формувача (суцільний, з пневматичними або механічними інструментами);  
в) фіксуванням об'ємної форми пакування: механічними замками; клейовим з'єднанням; скобами; комбіноване з'єднання.

г) приводом рухомих інструментів: механічний; пневматичний; комбінований.

д) за кількістю інструментів (від одного до чотирьох).

На рис. 3 представлена широко вживана схема автомата з вертикальним переміщенням інструмента для об'ємного формоутворення паковань. автомат працює наступним чином. Оператор накладає стос картонних розгорток у магазин М самонакладу. Бокові й

задня планки 1 магазину М утворюють обмежувальні площини та попередньо регулюються на формат розгорток Р. Нижня розгортка в магазині самонакладу підтримується знизу чотирма регульованими упорами. Глибина площинок упорів, що підтримують нижню розгортку – не більше 5 мм.

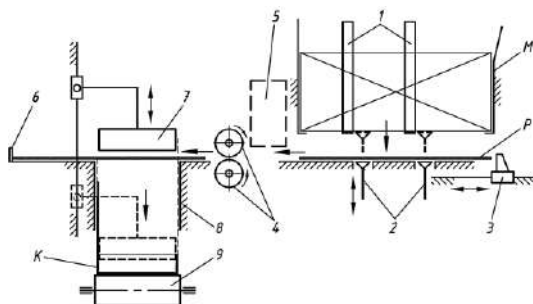


Рис. 3. Схема автомата з вертикальним переміщенням інструмента для об'ємного формотворення паковань

До нижньої розгортки в магазині самонакладу підходять дві пари вакуумних присмоктувачів 2. Зворотно-поступальний рух присмоктувачам вздовж вертикальної осі забезпечує окремий пневмоциліндр. Хід присмоктувачів 2 такий, що вони гарантовано підіймаються «вище» площини нижньої розгортки. У момент зустрічі з розгорткою відбувається пружна деформація матеріалу присмоктувачів (гуми) і вони щільно контактують з матеріалом розгортки (це здебільшого папір або картон із щільністю 300 г/м<sup>2</sup>). Під час подальшого руху присмоктувачів 2 донизу розгортка прогинається, її краї витягуються з-під площинок магазину і вона вивільнюється від решти стосу. Присмоктувачі рухаються донизу, пневмоавтоматика у нижній ділянці їх руху відключає подачу вакууму. Це вивільнює розгортку і вона «падає» на планки стола.

Далі розгортка переміщується у горизонтальному напрямку до позиції об'ємного формування штовхачами 3. Зворотно-поступального руху каретці зі штовхачами 3 вздовж напрямних надає окремий пневмоциліндр, механічний або сервопривод. Штовхачі 3 вштовхують розгортку у проміжок між валиками 4, що постійно обертаються. Картонна розгортка Р на своєму шляху до позиції об'ємного формування може проходити повз клейову секцію 5. Валики 4 переміщують розгортку до регульованого упору 6, попередньо встановленого відповідно до розмірів майбутньої коробки або контейнера. Подальше об'ємне формування коробки здійснює спеціальна формувальна колодка (пуансон) 7. Вона закріплена на каретці, яка робить зворотно-поступальний рух вздовж вертикальних напрямних. Привід каретці з формувальною колодкою 7 надається згідно з програмою окремим пневмоциліндром, механічним або сервоприводом. Конфігурацію робочої контактної площини формувальної колодки 7 вибирають згідно з базовою площиною розгортки (див. рис. 1). У більшості машин-автоматів передбачається можливість заміни колодки відповідно до формату картонної коробки. Недоліком є те, що діапазон форматів зазвичай обмежений.

На початку руху донизу колодка проштовхує розгортку у вертикальний тунель 8. Розгортка згинається по попередньо нанесених лініях бігування або перфорування. Стінки тунелю можуть мати певні особливості, які дозволяють згинати не всі лінії бігування одночасно, а по черговому. Застосування автоматів з укладанням горизонтально орієнтованих розгорток у магазин самонакладу створює проблеми для переміщення нижнього напівфабрикату (плоскої розгортки) до зони дії формувального пуансона. Тому в магазині машини одночасно можна розмістити невелику кількість розгорток (до 100), що ускладнює її обслуговування.

Перспективними вважаються схеми побудови автоматів згідно з рис. 4 із магазином М підвищеної місткості (до 250-300 шт.) з вертикально або нахилено орієнтованими картонними розгортками Р. Головні відмінності від попередньої схеми: поштучне виведення розгорток Р із магазину здійснюють хитні куліси 2 з комплектами присмоктувачів; подальше переміщення розгортки Р – вертикальне до упорів 6; рух формувальної колодки

(пуансона) 7 горизонтальний. Переваг такої побудови декілька. Загальна площа встановлення таких автоматів на виробництві менша, у них легше обслуговувати не тільки само-наклад, а і привод формувальних інструментів.

Найбільш енергоємними вузлами у обладнанні для об'ємного формоутворення паковань вважається пристрій формування тари або паковань як такий, що здійснює силовий вплив на матеріал заготовки. Інші пристрої виконують переважно транспортувальні функції, навантаження у їхніх приводах набагато менші.

Виявлено, що машини-автомати на основі пневмоциліндрів або серводвигунів дороги, невеликі підприємства придбати такі не можуть собі дозволити. Привод від пневмоциліндрів та серводвигунів потребує встановлення системи керування. Пневмопривод обов'язково містить вартісне додаткове устаткування (компресор). Удвічі і більше дешевших існуючих механічних приводів у процесі роботи виникають значні інерційні навантаження, що обмежує продуктивність виготовлення габаритних лотків до 15-18 лотків/хв. У багатьох випадках ускладнено забезпечити необхідні технічні умови важливими механізмами, необхідно застосувати певні програмоносії.

Якщо систематизувати недоліки механізмів пристрою об'ємного формування, отримаємо наступні висновки [13]:

- застосування пневмоприводу обмежене вартістю та збільшенням габаритів автомата;
- комбіновані важільні механізми вертикального переміщення формувальної колодки матеріаломісткі та характеризуються значними надлишковими навантаженнями у крайніх положеннях [8, с. 22].

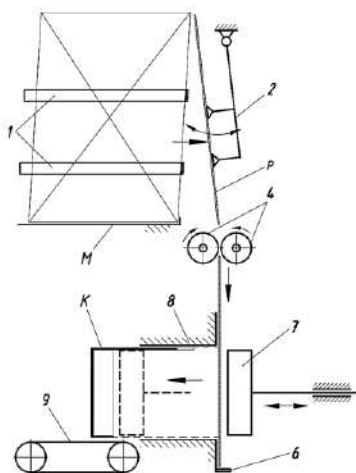


Рис. 4. Схема автомата з горизонтальним переміщенням інструмента для об'ємного формоутворення паковань

З огляду на наведене, удосконалення основних пристроїв машин об'ємного формування тари можна вирішити декількома шляхами:

- зменшенням інерційних навантажень за рахунок зменшення габаритних розмірів ведених ланок з хитним рухом і, відповідно, збільшенням їхнього розмаху;
- забезпеченням циклової паузи комбінованим механізмом, необхідної для встановлення в зоні обробки наступної гофрокартонної розгортки;
- обранням раціональних законів періодичного руху формувальних інструментів;
- застосуванням індивідуальних приводів лінійного переміщення (на основі пневмо-, гідро- або серводвигунів) з програмованим керуванням («електронний кулачок»).

**Висновки.** Для оперативного створення тари і паковань, готових до фасування продукцією та логістичних дій, обов'язковою є операція утворення об'ємної форми коробок і тари з гофрокартону. Виявлено, що одним із найбільш поширених є метод, згідно якому плоска картонна заготовка складається в об'ємну структуру лотка або ящика шляхом її проштовхування скрізь напрямні («тунель»). Описані стадії процесу та явища, що відбу-



ваються з матеріалом картонної заготовки при цьому. Виокремлені виробники обладнання та їхні модельні ряди. Аналіз машин-автоматів відомих світових виробників обладнання виявив загальні його риси їхньої модульної побудови. Уперше класифіковано типи цього обладнання та його головних модулів за ознаками, що мають найбільший вплив на продуктивність, якість продукції та енергоощадність. Виявлені недоліки використання існуючих пристроїв об'ємного формування тари та окреслені шляхи їхнього удосконалення, що дозволять виконати раціональне проектування високопродуктивного сучасного обладнання для підприємств і логістичних центрів.

### Список використаних джерел

1. Осика В. А. Пакувальні матеріали і тара : підручник / В. А. Осика. – К.: Київський націон. торг.-економ. університет, 2006. – 372 с.
2. Регей І. І. Споживче картонне пакування. Матеріали, проектування, обладнання для виготовлення / І. І. Регей. – Львів: УАД, 2011. – 142 с.
3. DIN 55468-1, 2021 Edition, January 2021 - Packaging materials - Corrugated board - Part 1: Requirements, testing. Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN), 2021.
4. ДСТУ 2890-94. Тара і транспортування. Терміни та визначення.– К. : Держстандарт України, 1994. 27 с.
5. Method for forming paper boxes and the like. Patent 4283190 USA. IPC B31B 9/26. Williams et al. Appl. №116897, filed 30.01.1980; publ. 11.04.1981.
6. Романов А. А. Справочник по технологическому оборудованию рыбообработывающих производств. Кн. 2. Оборудование для копчения рыбы, производства полуфабрикатов и кулинарных изделий, обработки нерыбных объектов промысла и упаковки готовой продукции / А. А. Романов, Е. К. Строганова, И. Е. Зинина. – М. : Пищевая промышленность, 1979. – 327 с.
7. А. с. SU 1622226 А1. МПК В65В 43/08, 43/18, В65Н 5/08. Устройство для формирования картонных пачек. / М.І. Дронченко, Е.М. Кацович, Т.Н. Морозова. – заявл. 16.08.1988, 4476434/13, опубл. 23.01.1991. Бюл. №3.
8. Благодарский В. А. Машины-автоматы для упаковки пищевых продуктов : справочник / В. А. Благодарский, Н. С. Колесник, М. С. Зиновьева. – К. : Техника, 1985. – 229 с.
9. Linvill Eric. 3-D Forming of Paper Materials. Doctoral Thesis. – Stockholm, KTH Royal Institute of Technology, 2017. – 51 p.
10. Controlling the folding of the blank in paperboard tray press forming / P. Tanninen, V. Leminen, H. Eskelinen, J. Varis // BioResources. – 2015. – № 10(3). – Pp. 5191-5202.
11. Гавва О. М. Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів / О. М. Гавва, А. П. Беспалько, А. І. Волчко. – К. : ІАЦ «Упаковка», 2006. – 96 с.
12. Проектування пакувального обладнання із мехатронних модулів / М. В. Якимчук, О. М. Гавва, А. П. Беспалько та ін. – К. : Вид-во «Сталь», 2017. – 515 с.
13. Kolomiets A. B. Improvement of the cardboard tray and case forming mechanisms / A. B. Kolomiets, O. O. Kotovskii // Progressive directions of technological complexes development TK-2020. Collection of scientific reports of VI International scientific and technical conference devoted to problems in higher education and science. – Lutsk, June 2-4, 2020. – Pp. 197-199.

### References

1. Osyka, V.A. (2006). *Pakovalni materialy i tara [Packaging materials and containers]*. Kyivskyi natsionalnyi torhivnelno-ekonomichnyi universytet.
2. Rehei, I.I. (2011). *Spozhyvche kartonne pakovannia. Materialy, proektuvannia, obladdannia dlia vyhotovlennia [Consumer cardboard packaging. Materials, design, equipment for manufacturing]*. Ukrainska akademiia drukarstva.
3. Deutsches Institut für Normung E.V. (DIN). DIN 55468-1, 2021 Edition, (2021). *Packaging materials. Corrugated board. Part 1: Requirements, testing*.
4. Derzhstandart Ukrainy. DSTU 2890-94. (1994). *Tara i transportuvannia. Terminy ta vyznachennia [Container and transportation. Terms and definitions.]*. K.: Derzhstandart of Ukraine, 1994.
5. Method for forming paper boxes and the like. Patent 4283190 USA. IPC B31B 9/26. Williams et al. Appl. №116897, filed 30.01.1980; publ. 11.04.1981.
6. Romanov, A.A., Strohanova, E. K., Zinina, Y. E. (1979). *Spravochnik po tekhnolohicheskomu oborudovaniuu ryboobrabatyvaiushchikh proizvodstv. Kn. 2. Oborudovanie dlia kopcheniia ryby, proizvodstva polufabrikatov i kulinarykh yzdelii, obrabotki nerybnykh obektov promysla y upakovki*

hotovoi produktsyi [Handbook of technological equipment for fish processing industries. Book. 2. Equipment for smoking fish, production of semi-finished products and culinary products, processing of non-fish objects of fishing and packaging of finished products]. Pishchevaia promyshlennost.

7. A. s. SU 1622226 A1. MPK V65V 43/08, 43/18, V65N 5/08. Ustroistvo dlia formirovaniya kartonnykh pachek. / M.I. Dronchenko, E.M. Katsovykh, T.N. Morozova. – zaiavl. 16.08.1988, 4476434/13, opubl. 23.01.1991. Biul. № 3.

8. Blahodarskii, V.A., Kolesnik, N.S., Zynoveva, M.S. (1985). *Mashyny-avtomaty dlia upakovki pishchevykh produktov: Spravochnik*. Tekhnika.

9. Linvill Eric. (2017). *3-D Forming of Paper Materials* [Doctoral Thesis]. Stockholm, KTH Royal Institute of Technology.

10. Tanninen, P., Leminen, V., Eskelinen, H., Varis, J. (2015). Controlling the folding of the blank in paperboard tray press forming. *BioResources*, 10(3), 5191-5202.

11. Havva, O.M., Bezpalko, A.P., Volchko, A.I. (2006). *Pakuvalne obladnannia. Obladnannia dlia obrobky transportnykh paketiv* [Packaging equipment. Equipment for processing transport packages]. IATs «Upakovka».

12. Yakymchuk, M.V., Havva, O.M., Bezpalko, A.P. (2017). *Proektuvannia pakuvalnoho obladnannia iz mekhatronnykh moduliv* [Design of packaging equipment from mechatronic modules]. Stal.

13. Kolomiets, A.B., Kotovskii, O.O. (2020). Improvement of the cardboard tray and case forming mechanisms. *Progressive directions of technological complexes development TK-2020*. Collection of scientific reports of VI International scientific and technical conference devoted to problems in higher education and science. Lutsk, June 2-4, 197-199.

Отримано 30.03.2023

UDC 676.84

### **Andriy Kolomiets<sup>1</sup>, Ostap Kotovskii<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences,

Associate Professor of the Department of Computerized Complexes of Printing and Packaging Industries  
Ukrainian Academy of Printing (L'viv, Ukraine)

E-mail: [kolanbor@gmail.com](mailto:kolanbor@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6441-0234>. ResearcherID: [rid48897](https://orcid.org/0000-0001-6441-0234)

<sup>2</sup>postgraduate

Ukrainian Academy of Printing (L'viv, Ukraine)

E-mail: [os.kotovskiy@gmail.com](mailto:os.kotovskiy@gmail.com)

## **VOLUMETRIC FORMING OF PACKAGINGS USING THE TUNNEL METHOD: EQUIPMENT AND WAYS OF ITS IMPROVEMENT**

*The article presents the results of scientific and methodical research in the field of printing and packaging engineering.*

*Speedy production of cardboard packaging, its packing with products, transporting and preservation is a significant factor in successful logistics operations. One of the most widespread is the method, according to which a flat cardboard blank is pushed by a punch into a matrix ("tunnel"), where its flaps are folded into a three-dimensional structure of a tray or box. There is a group of popular designs of trays and boxes according to the FEFCO catalog, which are manufactured by the method.*

*The analysis of publications revealed the existence of both studies related to the phenomena and equipment for folding sheet materials in printing industry, and aimed at improving packaging equipment. The combination of these two directions into a single study is hindered by the currently missing description of the structure and classification of the equipment and its components.*

*The purpose of the article is to analyze and systematize the features of the equipment for volumetric forming of a structure of cardboard containers (boxes and trays), as well as its modules to determine ways of their improvement.*

*A review of the equipment of well-known global manufacturers revealed common features of their modular construction. The main mechanisms of the cardboard container forming machine are defined, their functions are described, and they are classified according to the features that have the greatest impact on productivity, product quality, and energy saving. A comparison of application in production was made for the two most widespread schemes of the equipment. Ways to improve the considered equipment and drives of its main mechanisms were outlined.*

*The work describes the stages of the process of volumetric forming of cardboard packings by the tunnel method. The peculiarities of the use of existing devices for the volumetric forming of containers have been revealed. For the first time, the types of equipment for the implementation of the process and its main modules were classified. The presented materials can be used for the rational design of means for the production of cardboard packaging.*

**Keywords:** cardboard; blank; volumetric shape; container; machine; classification; drive.

Fig.: 4. Table: 2. References: 13.

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ  
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ  
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

**Шановні дописувачі!**

Для подання статті необхідно спочатку надіслати статтю та інформацію про автора, з яким контактувати щодо публікації статті, оформлені за встановленими вимогами, для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології». За умови відповідності статті спеціальностям, за якими акредитовано журнал, відповідності нормам академічної доброчесності за результатами перевірки на плагіат, позитивної незалежної рецензії від призначеного редакційною колегією рецензента, стаття розміщується в макеті журналу.

Редакційна колегія забезпечує розгляд та незалежне рецензування поданих до публікації матеріалів вченими, які мають науковий ступінь та здійснюють дослідження за спеціальністю, що відповідає тематиці поданого для публікації матеріалу, і є авторами (спів-авторами) загальною кількістю не менше трьох публікацій у наукових виданнях, включених до категорії «А» та/або категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України, та/або у закордонних виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus за відповідною спеціальністю, оприлюднених упродовж останніх п'яти років.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації наукової статті становить:

- **60 грн/1 сторінка** (за умови, якщо авторам потрібна паперова версія журналу);
- **40 грн/1 сторінка** (за умови, якщо авторам достатньо електронної версії журналу).

Остаточна вартість публікації формується після готовності електронного макету журналу та повідомляється автору, відповідальному за публікацію статті. Оплата підтверджується квитанцією.

**УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ  
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ  
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ»: <http://tst.stu.cn.ua/>**

**Контактна інформація:**

Мороз Наталія Вікторівна

Тел. моб.: (0462) 665-225

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  
як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права на використання твору  
(тиражування, розповсюдження тощо).*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*№ 1(31)*

Відповідальний за випуск  
Технічний редактор, відповідальна за випуск  
Редактор

С. П. Сапон  
Н. В. Мороз  
О. С. Смелова

Підписано до друку 28.03.2023. Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. – 20,0.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 6/23.

---

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.