

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

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



ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

№ 3(29)

Чернігів 2022

УДК 62:67.05

T38

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)

Друкуються за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 7 від 31.10.2022 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

Технічні науки та технології : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернівці : НУ «Чернігівська політехніка», 2022. – № 3(29). – 234 с.

В 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;

Срошенко 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. С., доктор технічних наук, професор, Донбаська державна машинобудівна академія;

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

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник, Державний науково-дослідний інститут 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 Є. В., доктор технічних наук, доцент, Центральноукраїнський національний технічний університет;

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

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

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

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

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 № 3(29)

Chernihiv 2022

UDC 62:67.05

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv Polytechnic National University (protocol № 7 dated 31.10.2022). Scientific journal "Technical sciences and technologies" is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 11, 2019 № 975, according to which magazine is assigned a category «B».

Technical sciences and technologies : scientific journal / Chernihiv Polytechnic National University. – Chernihiv : Chernihiv Polytechnic National University, 2022. – № 3(29). – 234 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;

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

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

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

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

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

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

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

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;

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

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

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

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>Клименко С., Рябченко С., Клименко С., Копейкіна М., Манохин А.</i> Системні уявлення щодо механічної обробки деталей з наплавленим покриттям	7
<i>Дегтярьов І., Нешта А., Косов І., Клок Я.</i> Експериментальні дослідження жорсткості верстатних пристроїв з неповним базуванням для деталей типу шатунів	15
<i>Карпаченко А., Макруха Т., Дубовий О., Бобров М.</i> Наноструктурування кристалічних матеріалів та напилених покриттів передрекристалізаційною термічною обробкою	27
<i>Kovaľuk D., Semjon J., Syč-Krivaň M., Sabol M.</i> Design of the educational workplace for working with a collaborative robot	37
<i>Tuleja P.</i> Manipulation of sensitive objects using compressed air	45
<i>Marcinko P., Kovaľuk D.</i> The use of smartcomponents in the design of complex robotic workplaces	52
<i>Кульба П., Чередніков О., Бояров В., Єрошенко А.</i> Дослідження температурного стану авіаційних шин іноземного виробництва	59
<i>Кальченко В., Єрошенко А., Венжега В., Кальченко Д.</i> Експериментальні дослідження шліфування торців роликів підшипників на модернізованому двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО	67
<i>Приходько В., Пуховський Є., Данилова Л., Лапковський С., Сапон С.</i> Інформаційне забезпечення розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів	77

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Білоус І., Петренко Д., Єрмоленко О.</i> Розробка та супроводження систем із розподіленими базами даних на основі технологій polyglot persistence	94
<i>Ларченко М.</i> Сучасні проблеми криптографічного захисту баз даних	102

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Будаш Ю., Плавач В., Тарасенко Н., Іщенко О., Петрунько Р.</i> Порівняльний аналіз розмірних характеристик частинок гібридних та мінеральних адсорбентів для процесів водоочищення	114
<i>Замай Ж., Гуменюк О., Хребтань О., Пономаренко С., Іваненко К.</i> Аналіз ефективності застосування ферментних препаратів та вимоги щодо їх безпечності в крафтовому виробництві пива	126

РОЗДІЛ IV. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Кирик В., Халіков В., Жерносєков А., Шатан О.</i> Організація асинхронної комутації трансформатора з урахуванням інерційності електромагнітних процесів	136
<i>Rákaý R.</i> Sensor expansion for industrial controller based on iot gateway	144
<i>Власюк В.</i> Моделювання статичних і динамічних аварійних режимів та аналіз споживання електричної енергії дільничної підземної підстанції залізничної шахти	151
<i>Батигін Ю., Шиндерук С., Чаплигін Є., Гаврилова Т., Фендриков Д.</i> Резонансний підсилювач активної електричної потужності. Пропозиція, аналіз, числові оцінки	160

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

<i>Sohor A., Brydun A., Vuha A.</i> Web cartography of soil quality in Lviv region	169
<i>Перович Л., Перович І., Ванчура Р., Смолій К.</i> Універсальний підхід до оцінки територій	178
<i>Гулько О.</i> Ефективність використання еколого-економічних чинників у потенціалі земельних ресурсів Вінницької області	186
<i>Ярема Н., Прохоренко М., Серант О., Терех Т.</i> Створення картографічного вебдодатка розвитку кафедри картографії та геопросторового моделювання Національного університету «Львівська політехніка»	192
<i>Міхно П., Лісовенко І., Бушувєв Д., Риженко І.</i> Особливості застосування сучасних геодезичних технологій у будівництві	198
<i>Гальченко Н., Клюка О., Козарь В., Бахарєв В.</i> Динаміка та просторовий розподіл земель природно-заповідного фонду Полтавської області	210
<i>Головачов В., Шипулін В.</i> Математичне моделювання процесів розробки багатопільового кадастру	220
ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ СТАТЕЙ	234

CONTENT

SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE
AND MACHINE BUILDING

<i>Klymenko S., Riabchenko S., Klymenko S., Kopieikina M., Manohkin A.</i> System concepts regarding mechanical processing of parts with clad surface layer	7
<i>Dehtiarov I., Neshta A., Kosov I., Klok Ya.</i> Experimental research of the rigidity of fixtures with incomplete location for connecting rod type parts	15
<i>Karpechenko A., Makrukha T., Dubovyy O., Bobrov M.</i> Nanostructuring of crystalline materials and sprayed coatings by pre-recrystallization heat treatment	27
<i>Koval'uk D., Semjon J., Syč-Krivaň M., Sabol M.</i> Design of the educational workplace for working with a collaborative robot	37
<i>Tuleja P.</i> Manipulation of sensitive objects using compressed air	45
<i>Marcinko P., Koval'uk D.</i> The use of smartcomponents in the design of complex robotic workplaces	52
<i>Kulba P., Cherednikov O., Boiarov V., Yeroshenko A.</i> Study of the temperature influence on the performance indicators of foreign-manufactured aviation tires	59
<i>Kalchenko V., Yeroshenko A., Venzhega V., Kalchenko D.</i> Experimental studies of grinding of the ends of bearing rollers on the modernized two-sided end grinding machine 3342ADO	67
<i>Prykhodko V., Pukhovskiy E., Danylova L., Lapkovskiy S., Sapon S.</i> Information support of dimensional modeling and analysis of technological processes	77

SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Bilous I., Petrenko D., Yermolenko O.</i> The development and maintenance of distributed database system based on polyglot persistence technologies	94
<i>Larchenko M.</i> Modern problems of cryptographic protection of databases	102

SECTION III. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Budash Yu., Plavan V., Tarasenko N., Ishchenko O., Petrunko R.</i> Comparative analysis of dimensional characteristics for particles of hybrid and mineral adsorbents for water purification processes	114
<i>Zamai Zh. Gumeniuk O., Khrebtan O., Ponomarenko S., Ivanenko K.</i> The analysis of the efficiency of enzyme preparations use and requirements on their safety in craft beer production	126

SECTION IV. ELECTRIC POWER ENGINEERING,
ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICS

<i>Kyryk V., Khalikov V., Zhernosekov A., Shatan O.</i> Organization of asynchronous transient response of transformer taking into account the inertia of electromagnetic processes	136
<i>Rákay R.</i> Sensor expansion for industrial controller based on iot gateway	144
<i>Vlasiuk V.</i> Modelling of the static and dynamic emergency modes and analysis of the electric energy consumption of the sectional underground substation of the iron ore mine	151
<i>Batygin Yu., Shinderuk S., Chaplygin E., Gavrilova T., Fendrykov D.</i> Resonant amplifier of active electrical power. Suggestion, analysis, numerical assessments	160

SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY

<i>Sohor A., Brydun A., Buha A.</i> Web cartography of soil quality in Lviv region	169
<i>Perovych L., Perovych I., Vanchura R., Smoliy K.</i> Universal approach to territory assessment	178
<i>Hulko O.</i> Efficiency of use of environmental and economic factors in the potential of land resources of Vinynat region	186
<i>Yarema N., Prokhorenko M., Serant O., Terekh T.</i> Creation of the cartographic web application of the development of the department of cfrtography and geospatial modelling of Lviv Polytechnic National University	192
<i>Mikhno P., Lisovenko I., Bushuiev D., Ryzhenko I.</i> Features of application of modern geodesic technologies in constructing	198
<i>Halchenko N., Klyuka O., Kozar V., Bakhariev V.</i> Dynamics and spatial distribution of the lands of the nature-reserve fund of the Poltava region	210
<i>Holovachov V., Shypulin V.</i> Mathematical modeling of multipurpose cadastral development processes	220
BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES	234

РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-7-14

УДК 621.81:621.9.04

**Сергій Клименко¹, Сергій Рябченко², Сергій Клименко³,
Марина Копейкіна⁴, Андрій Манохин⁵**

¹доктор технічних наук, професор, член-кореспондент НАН України, заступник директора з наукової роботи, Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: atmu@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>

ResearcherID: [Q-8928-2019](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771). SCOPUS Author ID: [57221904325](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771)

²кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу «Технології формування структурованих інструментальних композитів», Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: s.riabchenko@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4599-9810>. SCOPUS Author ID: [57216581604](https://orcid.org/0000-0002-4599-9810)

³кандидат технічних наук, старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ», Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: alcon1202@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>

ResearcherID: [FFQ-3675-2022](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519). SCOPUS Author ID: [57197629303](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519)

⁴кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ», Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: atmu1@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5956-5503>

ResearcherID: [FZY-5450-2022](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503). SCOPUS Author ID: [36337661400](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503)

⁵кандидат технічних наук, старший дослідник, старший науковий співробітник відділу «Технологічного управління якістю обробки інструментами із НТМ», Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ, Україна)

E-mail: the.manokhin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>.

ResearcherID: [DGN-4506-2022](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482). SCOPUS Author ID: [37059129600](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482)

СИСТЕМНІ УЯВЛЕННЯ ЩОДО МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ З НАПЛАВЛЕНИМ ПОКРИТТЯМ

Розглянуто питання механічної обробки деталей із наплавленим поверхневим шаром. Запропоновано загальні уявлення системного підходу до складної технічної системи, якою є механічна обробка наплавлених деталей із функцією виготовлення деталі з покриттям із мінімальними витратами згідно з вимогами до показників якості готового виробу. Визначено правило, за яким виробляється декомпозиція системи: об'єкти нижнього рівня декомпозиції системи обробки наплавленого покриття – це елементи, що визначають параметри взаємодії інструменту з деталлю та режими різання. Показано, що для опису системи обробки деталі з покриттям досить розглянути умовну інформаційну систему, що містить імітаційні та натуральні моделі – випадкового збудження, зношування різального інструменту, формування мікронерівностей на обробленій поверхні, а також формування технологічних характеристик процесу обробки. Наведено варіант схеми декомпозиції системи обробки наплавленого покриття.

Ключові слова: система; наплавлене покриття; механічна обробка; декомпозиція; аналіз; синтез.

Рис.: 1. Табл.: 1. Бібл.: 9.

Актуальність теми дослідження. Одним із найбільш перспективних шляхів підвищення працездатності та довговічності машин та механізмів є широке застосування різних способів зміцнення їхніх деталей, які працюють в умовах тертя та зносу, наплавленням зносостійкими матеріалами [1; 2]. Це обумовлює проведення досліджень з підвищення ефективності виготовлення зміцнених виробів на всіх етапах їх виробництва.

Постановка проблеми. У більшості випадків, які мають відношення до виготовлення деталей машин, технологія наплавлення не є фінішною, а є елементом створювання заготовки, тому для отримання готового виробу є потреба в застосуванні методів механічної обробки, як лезової, так і абразивної. Тому важливим є визначення певних умов щодо проведення механічної обробки з урахуванням особливостей оброблюваного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням механічної обробки деталей із наплавленими покриттями присвячена низка монографій [3–5], у яких узагальнено уявлення щодо особливостей процесів лезової та абразивної обробки, працездатності інструментів, якості оброблених виробів, наведено рекомендації із забезпечення процесів механічної обробки.

Наплавлені деталі значно гірше піддаються обробці різанням, ніж литі або прокат через значні значення показників механічних властивостей покриттів та їх нестабільність, складність та неоднорідність їхнього хімічного складу, великий перемінний припуск на обробку, можливу наявність в оброблюваному матеріалі твердих включень, раковин, пір. Тому вихідні показники процесу обробки (стійкість інструменту, продуктивність процесу обробки, якість оброблених деталей і т. ін.) залежать від величин параметрів, що визначають властивості покриттів, та від вибору способу обробки.

Зазначено, що для випадку наплавлених деталей має місце значна кількість факторів, які суттєво впливають як на ефективність їх виготовлення, так і на якість оброблених виробів – дуже важливим є урахування впливу на показники процесу механічної обробки стану технологічного обладнання, лезового або абразивного інструменту, особливостей форми наплавлених деталей, структури та властивостей наплавленого матеріалу й інших факторів.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Для підвищення ефективності таких багатофакторних систем, як процес механічної обробки деталей із наплавленим поверхневим шаром, його необхідно розглядати з позицій системного підходу [6–8], що практично відсутнє в роботах із вказаної проблеми.

Метою статті є визначення загального системного підходу до забезпечення процесу механічної обробки деталей із наплавленим поверхневим шаром.

Виклад основного матеріалу. Система – це об'єкт, який має «системну» властивість, тобто властивість, якою не володіє жоден із елементів системи за будь-якого способу членування і не може виводитися з властивостей частин [8].

Поряд з елементами (M) структура системи визначається відповідними властивостями цих елементів (P) та зв'язками, що розглядаються як співвідношення між елементами (R). Відповідно до цього, структура системи є безліччю $C = \{M, P, R\}$.

Зв'язки між системою та її оточенням являють собою входи $\{X\}$ і виходи $\{Y\}$. Відповідно до Н. Вінера [9], входи та виходи системи можна поділити на три загальні категорії: речовина, енергія, інформація.

Функція системи для досягнення певної мети полягає в закономірному перетворенні входів $\{X\}$ у виходи $\{Y\}$.

Відповідно до системних уявлень процес механічної обробки наплавлених покриття є складовою системи – процесу виготовлення деталі з покриттям S^* . До її складу входять система технологічної підготовки виробництва S_1 , система виготовлення основи заготівлі S_2 , система формування покриття S_3 , система обробки покриття S_4 , система контролю готового виробу S_5 .

Функція системи S^* – це виготовлення деталі з покриттям, з мінімальними витратами та із забезпеченням показників якості готового виробу. Для потреб системи S^* система S_4 виконує функцію обробки наплавленого покриття, тобто перетворює параметри заготовки з покриттям у параметри готового виробу з покриттям.

Кожен рівень декомпозиції системи можна визначити двомісним предикатом, складовими частинами якого є структура системи δ і безліч входів X , що забезпечують виконання функції F_{S^*} [7]

$$\forall m \exists_R p_{S^*}^1 \{ \delta \wedge X \} \rightarrow F_{S^*} . \quad (1)$$

Предикат (1) на рівні всієї аналізованої системи визначається послідовною ідентифікацією таких предикатів на кожному рівні декомпозиції.

З мети аналізованої системи має бути визначено правило, за яким створюється її декомпозиція [7]. У нашому випадку воно постулюється наступним чином: об'єкти нижнього рівня декомпозиції системи обробки наплавленого покриття – це елементи, що визначають параметри взаємодії інструменту з деталлю та режими різання

$$\forall m \exists p \{ S^{*l=\max} \supset_{i=1}^n S_i X \}. \tag{2}$$

На основі правила (2), декомпозиція системи виготовлення деталі з покриттям може бути представлена структурними рівняннями кожного рівня декомпозиції

$$\begin{aligned} 1 &= 0; S^* \\ 1 &= 1; S^* \subset S_1^{\wedge} S_2^{\wedge} S_3^{\wedge} S_4^{\wedge} S_5^{\wedge} \\ 1 &= 2; S_4 \subset M^{\wedge} T^{\wedge} W \\ 1 &= 3; M \subset UM^{\wedge} j_{st}M; T \subset GT^{\wedge} DT^{\wedge} j_{in}T; W \subset CW^{\wedge} KW^{\wedge} j_pW \end{aligned} \tag{3}$$

де M – верстат та пристосування;

T – інструмент;

W – наплавлений матеріал;

$j_{st}M, j_{in}T, j_pW$ – жорсткість верстату, пристосування, інструменту і деталі з покриттям відповідно;

UM – умови різання;

GT – геометричні параметри інструменту;

DT – параметри взаємодії інструменту із заготовкою;

CW – властивості наплавленого матеріалу;

KW – геометричні характеристики наплавленої поверхні.

Система (3), спільно з (1), є структурно-ієрархічною моделлю системи виготовлення деталі з наплавленим покриттям.

Предметом системних досліджень є відносини R між елементами моделі, що породжують взаємозв'язки для доступності моделювання [7]. Взаємозв'язки між елементами моделі визначаються відношенням між функцією процесу F_{S^*} обробки покриття та об'єктами системи. На рис. 1 це відношення представлено графом, вершинами якого є безліч структур відповідному рівні декомпозиції системи (m), безліч параметрів X , функція F_{S^*} і безліч вихідних параметрів W .

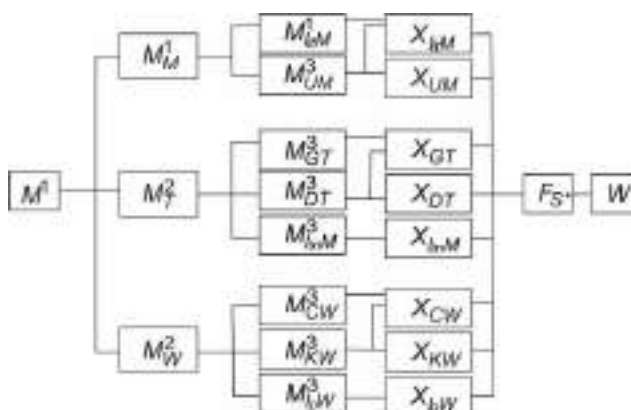


Рис. 1. Граф взаємозв'язків у системі

Структура параметричної моделі системи

$$X : \{ X_{j_{st}M}^{\wedge} X_{UM}^{\wedge} X_{GT}^{\wedge} X_{DT}^{\wedge} X_{j_{in}T}^{\wedge} X_{CW}^{\wedge} X_{KW}^{\wedge} X_{j_pW} \} \rightarrow F_{S^*} \rightarrow W, \tag{4}$$

де $X_{j_{st}M}$ – множина параметрів жорсткості верстата і пристосування;

- $X_{j_{st}M}$ – множина параметрів режимів різання;
 X_{GT} – множина геометричних параметрів інструменту;
 X_{DT} – множина параметрів взаємозв'язків інструмента із заготовкою;
 $X_{j_{in}T}$ – множина параметрів жорсткості інструменту;
 X_{CW} – множина параметрів властивостей наплавленого матеріалу;
 X_{KW} – множина геометричних параметрів наплавленої поверхні;
 X_{j_pW} – множина параметрів жорсткості деталі із покриттям.

Множина X_i ідентифікується таким чином

$$\begin{aligned}
 X_{j_{st}M} &= \{j_1, j_2, j_3, j_4\}; \\
 X_{UM} &= \{v, S, t\}; \\
 X_{GT} &= \{\alpha, \gamma, \lambda, \delta, \varepsilon, \phi, \rho, r\}; \\
 X_{DT} &= \{h_3, K, \theta, T\}; \\
 X_{j_{in}T} &= \{j_{in} T\}; \\
 X_{CW} &= \{M, D, \sigma_M^2, \sigma_D^2\}; \\
 X_{KW} &= \{Rz, \sigma_{Rz}^2, Sm\}; \\
 X_{j_pW} &= \{j_p\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

де j_1, j_2, j_3, j_4, j_5 – жорсткість передньої і задньої бабок верстату, супорту, пристосування, інструменту і деталі із покриттям відповідно;

v, S, t – режими різання;

α – задній кут різця;

γ – передній кут різця;

λ – кут нахилу головної різальної кромки;

ε – кут загострення різця; ϕ – кут різця у плані;

ρ, r – радіус заокруглення різальної кромки та радіус при вершині різця відповідно;

h_3 – ширина фаски зносу інструменту по задній поверхні;

K, θ – показники механічної та хімічної взаємодії в зоні контакту інструменту із наплавленим покриттям відповідно;

T – стійкість інструменту;

M, D – механічні властивості та хімічний склад наплавленого матеріалу відповідно;

σ_M^2, σ_D^2 – дисперсія механічних властивостей і вміст хімічних елементів в матеріалі покриття відповідно;

Rz, Sm, σ_{Rz}^2 – висота, крок, дисперсія параметрів нерівностей профілю наплавленої поверхні.

З урахуванням наявного досвіду та на підставі аналізу літературних джерел постулюємо, що для опису системи обробки деталі з покриттям S_4 досить розглянути певну умовну інформаційну систему I_{S^*} , що включає імітаційні та натуральні моделі, які адекватно визначають зв'язки в системі

$$S_4 \forall_X \exists_R P \{ (R \leftrightarrow I_{S^*}) \rightarrow (\delta^X) \}. \tag{6}$$

При цьому функція системи реалізується за рахунок вибору параметрів інструменту та оптимізації незалежних параметрів режиму різання як перетин їх множин на області можливих оптимальних значень та безлічі обмежень

$$(Z) \forall_X \exists_P : \left\{ (\delta^X) \rightarrow \left[\Sigma \rightarrow \delta \right]^\wedge \text{opt}(X^Z) \right\}. \quad (7)$$

У таблиці наведено варіант схеми декомпозиції системи обробки наплавленого покриття S4.

Таблиця – Схема декомпозиції системи обробки наплавленого покриття

$l=0 (E_1)$	$l=1 (E_2)$	$l=2 (E_3)$	$l=3 (E_4)$
1	2	3	4
Процес обробки наплавленого покриття	1.1. Аналіз вимог до процесу	2.1. Вектор проектних параметрів системи 2.2. Вектор критеріїв якості системи	3.1. Вектор вхідних параметрів 3.2. Вектор вихідних параметрів 3.3. Вектор обмежень 3.4. Параметрична модель
	1.2. Вибір структури системи	2.3. Створення банку структур системи 2.4. Декомпозиція системи	3.5. Об'єкти системи 3.6. Об'єкти структурної моделі системи 3.7. Початкова структура системи 3.8. Граф взаємодії в системі
		2.5. Модель системи випадкового збудження	3.9. Характеристики підсистеми властивостей покриття 3.10. Характеристики підсистеми різання покриття 3.11. Характеристики підсистеми технологічного обладнання 3.12. Критерій оброблюваності покриття
		2.6. Модель зношування інструменту	3.13. Термодинамічні параметри хімічної взаємодії 3.14. Типи з'єднань у контакті 3.15. Уявлення щодо механізму зношування інструменту
	1.3. Розробка умовної інформаційної системи	2.7. Модель формування мікронерівностей обробленої поверхні	3.16. Вплив поруватості покриття на висоту мікронерівностей 3.17. Вплив вібрацій в зоні різання на висоту мікронерівностей 3.18. Вплив пластичної деформації матеріалу в зоні різання на висоту мікронерівностей 3.19. Параметри шорсткості поверхні деталі з покриттям
		2.8. Натурні моделі формування технологічних характеристик процесу	3.20. Термобаричні закономірності процесу різання покриття 3.21, 3.22. Методика вибору та комплекс властивостей матеріалу інструменту 3.23. Модель зв'язків умов обробки з параметрами стану поверхневого шару 3.24. Комплексна оцінка стану поверхневого шару покриття після обробки
	1.4. Розробка шляхів підвищення ефективності процесу обробки	2.9. Вектор цільових функцій 2.10. Завдання критеріїв 2.11. Конструкторське забезпечення процесу обробки	3.25. Модель зв'язку вихідних параметрів процесу різання з умовами додаткового енергетичного впливу 3.26. Модель вихідних параметрів процесу різання з МОТС 3.27. Модель керування вібраціями в зоні різання 3.28. Створення нових матеріалів для інструментів 3.29. Модель оптимізації процесу обробки 3.30. Конструкції інструментів для обробки 3.31. Конструкції пристосування для обробки

Завдання E_{11} вирішується за моделлю (4), E_{12} – за (1), (3) та графом на рис. 1, завдання E_{13} це опис умовної системи (6), E_{14} – (7).

Другий рівень декомпозиції передбачає наявність структури умовної системи. З урахуванням особливостей наплавленого матеріалу та умов його обробки структура системи описується декількома моделями – випадкового збудження D_{S^*} , яка розглядає об'єкт, що обробляється у взаємозв'язку з використовуваним технологічним обладнанням, зношування різального інструменту D_I , формування мікронерівностей на обробленій поверхні D_{Rz} , а також формування технологічних характеристик процесу обробки

$$D_N \forall x \exists P : \left\{ \min(R_{I_{S^*}}) \leftrightarrow (D_{S^*} \wedge D_I \wedge D_{Rz} \wedge D_N) \right\}. \quad (8)$$

де $R_{I_{S^*}}$ – зв'язки в умовній системі.

Модель випадкового збудження є трирівневою. Перший рівень $\{M_1\}$ зумовлений жорсткістю технологічного обладнання, пристосувань, інструменту та деталі (умовно – технологічного обладнання). Другий рівень $\{M_2\}$ пов'язаний з наявністю на поверхні виробу з покриттям макро- і мікронерівностей, відхилень форми виробу і, обумовленими цими особливостями, контактування з різальним інструментом. Стосовно умов обробки коли з деталі видалено верхній нерівний шар покриття, вплив вихідних дефектів профілю визначається технологічною спадковістю. На третьому рівні $\{M_3\}$ доцільно розглядати неоднорідність структури і механічних властивостей наплавленого матеріалу.

Порядок синтезу системи процесу обробки визначається рішенням морфологічного завдання, яке будується, наприклад, за наведеною схемою декомпозиції та регламентує послідовність вирішення завдань на кожному рівні декомпозиції з урахуванням показників взаємодії між елементами системи.

Висновки. Процес обробки наплавленого покриття має розглядатися з позицій системного аналізу. Об'єктами нижнього рівня декомпозиції системи є елементи системи, що визначають параметри взаємодії інструмента з деталлю та режими різання. Система описується такими моделями: випадкового збудження під час обробки покриття, зношування різального інструменту, формування мікронерівностей на обробленій поверхні, формування технологічних характеристик процесу.

Нестабільність хімічного складу і властивостей наплавленого матеріалу, наявність на наплавленій поверхні макро- і мікронерівностей, стан використовуваних технологічного обладнання та інструменту зумовлюють мінливість показників процесу механічного оброблення наплавлених деталей, працездатності інструменту, характеристик точності та якості оброблених деталей.

Список використаних джерел

1. Наукоемкие технологии в машиностроении / А. Г. Суслов, Б. М. Базров, В. Ф. Безъязычный и др.; под ред. А. Г. Суслова. – М.: Машиностроение, 2012. – 528 с.
2. Технологические и эксплуатационные методы обеспечения качества машин / [В. Б. Альгин и др.]; под общ. ред. акад. П. А. Витязя; Нац. акад. наук Беларуси, Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь. – Минск: Беларуская навука, 2010. – 108 с.
3. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец, А. М. Пилипенко, Ю. А. Мельничук, В. В. Бурыкин; под общей ред. С. А. Клименко. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
4. Обработка и упрочнение поверхностей при изготовлении и восстановлении деталей / В. И. Бородавко [и др.]. – Минск: Белорусская наука, 2013. – 464 с.
5. Рыжов Э. В. Технологическое обеспечение качества деталей с покрытиями / Э. В. Рыжов, С. А. Клименко, О. Г. Гуцаленко. – К.: Наук. думка, 1994. – 181 с.
6. Дружинин В. В. Системотехника / В. В. Дружинин, Д. С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
7. Сторчак М. Г. Синтез технологических систем для отделочной обработки зубчатых колес: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / Национальний технічний університет України «КПІ». – Київ, 1994. – 32 с.

8. Чихос Х. Системный анализ в трибонике / Х. Чихос; перевод с англ. С. А. Харламова. – М. : Мир, 1982. – 351 с.
9. Winner N. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Mashine / Winner N. – The MIT Press, 1948.

References

1. Suslova, A.G. (Ed.). (2012). *Naukoemkie tekhnologii v mashinostroyenii [Science-intensive technologies in mechanical engineering]*. Mashinostroenie.
2. Vityazyu, P.A. (Ed.) (2010). *Tekhnologicheskkiye i ekspluatatsionnyye metody obespecheniya kachestva mashin [Technological and operational methods for ensuring the quality of machines]*. Belarus. navuka.
3. Klimenko, S.A., Kolomiyets, V.V., Kheyfets, M.L., Pilipenko, A.M., & Burykin, V.V. (2011). *Obrabotka rezaniyem detaley s pokrytuyami [Machining of coated parts]*. ISM NAN Ukrainy.
4. Borodavko, V.I., Ivashko, V.S., Klimenko, S.A., & Kheyfets, M.L. (2013). *Obrabotka i uprochneniye poverkhnostey pri izgotovlenii i vosstanovlenii detalei [Processing and hardening of surfaces in the manufacture and restoration of parts]*. Belarus. navuka.
5. Ryzhov, E.V., Klimenko, S.A., & Gutsalenko, Yu.G. (1994). *Tekhnologicheskoye obespechenie kachestva detalei s pokrytuyami [Technological assurance of the quality of parts with coatings]*. Nauk. dumka.
6. Druzhnin, V.V. (1985). *Sistemotekhnika [System engineering]*. Radio i sviaz.
7. Storchak, M.G. (1994). *Sintez tekhnologicheskikh sistem dlya otdelochnoy obrabotki zubchatykh koles [Synthesis of technological systems for finishing gears]*. [PhD dissertation; Natsionalniy tekhnichnyi universitet Ukrainy «KPI»].
8. Chikhos, Kh. (1982). *Sistemnyy analiz v tribonike [System analysis in tribonic]*. Mir.
9. Winner, N. (1948). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Mashine* The MIT Pressi.

Отримано 12.09.2022

UDC 621.81:621.9.04

**Sergiy Klymenko¹, Serhiy Riabchenko², Serhiy Klymenko³,
Maryna Kopieikina⁴, Andriy Manokhin⁵**

¹Dr. in Technical Science, professor, Corresponding Member of NAS of Ukraine, Deputy Director of Science V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: atmu@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1464-3771>

ResearcherID: [Q-8928-2019](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771). SCOPUS Author ID: [57221904325](https://orcid.org/0000-0003-1464-3771)

²PhD in Technical Sciences, Senior Researcher of the Department «Technologies of formation of structured tool composites» V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: s.riabchenko@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4599-9810>. SCOPUS Author ID: [57216581604](https://orcid.org/0000-0002-4599-9810)

³PhD in Technical Sciences, Senior Researcher of the Department «Technological Control of the Quality of Machining Tools with SHM» V. N. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: alcon1202@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7913-5519>

ResearcherID: [FFQ-3675-2022](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519). SCOPUS Author ID: [57197629303](https://orcid.org/0000-0002-7913-5519)

⁴PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Researcher of the Department «Technological Control of the Quality of Machining Tools with SHM»,

V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: atmu1@meta.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5956-5503>

ResearcherID: [FZY-5450-2022](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503). SCOPUS Author ID: [36337661400](https://orcid.org/0000-0002-5956-5503)

⁵PhD in Technical Sciences, Senior Researcher, Senior Researcher of the Department «Technological Control of the Quality of Machining Tools with SHM», V.N. Bakul Institute for Superhard Materials of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: the.manokhin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1479-8482>.

ResearcherID: [DGN-4506-2022](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482). SCOPUS Author ID: [37059129600](https://orcid.org/0000-0003-1479-8482)

SYSTEM CONCEPTS REGARDING MECHANICAL PROCESSING OF PARTS WITH CLAD SURFACE LAYER

The issues of mechanical processing of parts with clad surface layer are considered. The general concepts of the system approach to the complex technical system, which is the machining of welded parts with the function of manufacturing a coated part with minimal costs in accordance with the requirements for the quality of the finished product, are proposed. The rule by

which the decomposition of the system is made is defined: the objects of the lower level of decomposition of the system of processing of the clad surface layer are the elements that determine the parameters of interaction of the tool with the part and the cutting modes. It is shown that to describe the processing system of a coated part, it is enough to consider a conditional information system containing simulation and natural models - random excitation, wear of the cutting tool, the formation of micron irregularities on the machined surface, as well as the formation of technological characteristics of the machining process. A variant of the decomposition scheme of the cladding processing system is presented. The model of random excitation, which is directly related to the processed clad product, is three-level and is caused by the rigidity of technological equipment, devices, tools and parts, the presence on the surface of the coated product of macro- and microirregularities, deviations in the shape of the product and, due to these features, contact with the cutting tool, inhomogeneity of the structure and mechanical properties of the deposited material.

The order of the synthesis of the system of the process of mechanical processing of welded parts is determined by the solution of the morphological problem, which is built according to the given decomposition scheme and regulates the sequence of solving problems at each level of decomposition, taking into account the indicators of interaction between the elements of the system.

Keywords: system; deposited coating; machining; decomposition; analysis; synthesis.

Fig.: 1. Table: 1. References: 9.

Іван Дегтярьов¹, Анна Нешта², Ілля Косов³, Ярослав Клок⁴

¹кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

Scopus Author ID: [57192084069](https://orcid.org/0000-0001-8535-987X)

²кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4072-5439>

Scopus Author ID: [55884734500](https://orcid.org/0000-0003-4072-5439)

³аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: ilyakosov95@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6472-6554>

⁴студент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів
Сумський державний університет (Суми, Україна)

E-mail: varikklok11@gmail.com

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВЕРСТАТНИХ ПРИБОРІВ З НЕПОВНИМ БАЗУВАННЯМ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ШАТУНІВ

На основі застосування нових підходів до базування деталей та технологічних можливостей сучасних металорізальних верстатів запропоновано нові конструктивні рішення верстатного пристрою для встановлення деталей типу шатунів на багатоцільових верстатах. Уперше експериментально визначена статична жорсткість верстатного пристрою такого типу для оброблення шатунів. Виконано чисельне моделювання напружено-деформованого стану запропонованої конструкції та зіставленні теоретичні та експериментальні значення величин переміщень оброблюваних поверхонь у верстатному пристрої під дією зовнішніх навантажень.

Ключові слова: точність; відхилення; напруження; чисельне моделювання; похибка.

Табл.: 3. Рис.: 9. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Активний розвиток виробничих технологій, зумовлений як вимогами концепції Індустрії 4.0, так і світовими потребами суспільства у збільшенні кількості якісної та доступної продукції для широкого кола людей, вимагає від машинобудівних виробництв впровадження сучасних технологій вже зараз [1]. У зв'язку з вищезазначеним підприємствам для можливості виготовлення конкурентоспроможної продукції необхідно постійно оновлювати не тільки обладнання, технології виготовлення, а й підходи до виробничого процесу. Номенклатура автомобілів та іншої техніки, що містить двигуни внутрішнього згорання – трактори, мотоцикли, катери, дрібна сільськогосподарська та інша техніка, постійно зростає. При цьому час виходу продукції на ринок скорочується, оновлюються моделі, змінюються технічні характеристики.

Також змінився підхід до виготовлення запасних частин до вищевказаної техніки. Їх здебільшого виготовляють підприємства підрядники за ліцензією або договорами, реалізуючи таким чином концепцію оццадливого виробництва [2; 3]. Але це треба робити досить швидко і при цьому якісно, причому обсяги партій та номенклатура деталей можуть суттєво відрізнятись.

Класичний підхід вимагає великої кількості спеціального оснащення для кожного конкретного типорозміру деталі, що в сучасних умовах є економічно недоцільним. Тому розроблення нових технічних рішень переналагоджуваних верстатних пристроїв (ВП) є актуальним завданням.

Постановка проблеми. Верстатний парк на підприємствах підрядниках досить різноманітний із широкими технологічними можливостями, проте переважно використовуються універсальні багатокординатні обробні центри з можливостями для високоточного та високопродуктивного оброблення. Форма організації виробництва на таких підприємствах здебільшого дрібносерійна з меншим або більшим направленням на збільшення серійності відповідно до економічних, технічних, територіальних та інших особливостей.

Загалом продукція машинобудівних виробництв досить різноманітна, але в цій статті акцент буде зосереджено на виготовленні таких запасних частин, як нерознімні шатуни, що застосовуються в поршневих компресорах та двигунах мотоциклів і великого різноманіття техніки для сільськогосподарських та домашніх потреб, що містить у своєму складі двигуни внутрішнього згоряння. Оскільки нині виробники постійно оновлюють свої моделі не тільки зовнішньо, але й технічно, то деталі у двох схожих за характеристиками агрегатів навіть однієї фірми відрізняються і не є взаємозамінними. Запасні частини до вищевказаної техніки виготовляють в обмеженій кількості під час основного циклу випуску моделі, а після зняття моделі з виробництва виготовлення комплектуючих до неї визначається потребами сервісних центрів та ринку, тому обсяги партій, що замовляються на підприємствах підрядниках, коливаються досить суттєво.

Деталі типу шатуни, що розглядатимуться в дослідженні, належать до некруглих стрижнів за класифікатором ЄСКД, клас 72 [4]. Така геометрична форма викликає складність базування, а наявність великої кількості необроблюваних поверхонь, у сукупності з достатньо високими вимогами до розмірної точності, точності форми та взаємного розміщення поверхонь шатунів, у великосерійному та масовому виробництві вимагало застосування виключно спеціальних ВП. Причому для особливо відповідальних конструкцій використовувались «пристрої супутники», щоб не виконувати повторне установлення деталі, бо накоплюється велика похибка через конструктивну неможливість повністю відмовитися від чорнових баз після першої механічної операції. Тому заготовка знаходилась у «пристрою супутнику» на певному етапі або взагалі протягом всього технологічного процесу механічного оброблення. Відповідно процес переналагодження займав досить багато часу і таких пристроїв потрібно було використовувати декілька одночасно при такому підході, що передбачав диференціацію операцій за видом обладнання, через його вузьконаправленість та обмежені технологічні можливості. Усе це недопустимо в умовах сучасної конкуренції в машинобудівній галузі.

Нині технологічні можливості обробних центрів зробили великий технологічний крок і дозволяють виконувати оброблення кожної наступної деталі без точного її попереднього базування. Вимірювальний щуп визначає координати фактичного положення заготовки відносно системи координат верстата і система ЧПК в автоматичному циклі коригує траєкторію руху інструмента, враховуючи реальне положення оброблюваних поверхонь заготовки в цьому конкретному випадку. Це дозволяє дещо спростити схеми базування заготовок і відповідно виключити похибки установлення, але виникає необхідність за рахунок сил закріплення надати заготовці незмінного положення протягом усього процесу оброблення.

Тому зусилля конструкторів технологічного оснащення мають бути спрямовані на проектування ВП, які будуть забезпечувати достатню інструментальну доступність для можливості реалізації оброблення за мінімальну кількість установлень. Також ВП мають бути достатньо жорсткими для забезпечення максимальної реалізації можливостей сучасних верстатів та різальних інструментів, при цьому дозволяти установлення деталей у максимально можливому діапазоні розмірів згідно з конструктивними характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загалом питанням підвищення продуктивності на невеликих підприємствах із дрібносерійною формою організації виробництва займаються не тільки в галузі металооброблення, але й у інших галузях машинобудування, зокрема у [5] авторами статті запропоновані шляхи підвищення продуктивності за рахунок застосування підходів до ефективного компонування цеху та принципово нових конструкцій пристроїв для базування труб при зварюванні, що в сукупності дозволило скоротити виробничі витрати на 15 %. Питаннями проектування та розрахунку ВП займалися багато вчених по всьому світу. Зокрема у [6] розроблено алгоритм автоматизованого проектування ВП на

основі оптимізації вибору варіантів закріплення на прикладі лопатки реактивного двигуна, що має складну геометричну форму і малу власну жорсткість. Корес та Kowalewska у роботі [7] запропонували ВП для підвищення жорсткості тонкостінних композиційних листів під час оброблення та фізико-механічних випробувань на циклічну міцність.

У роботі [8] авторами пропонується метод оцінки частотних характеристик заготовки з пристосуванням та автоматизований алгоритм визначення оптимального розташування допоміжних опор ВП під час фрезерування деталей малої жорсткості з тонкостінного листового матеріалу. Важлива оптимізаційна задача з визначення оптимальної схеми закріплення у переналагоджуваних ВП для заготовок різного типу розглянута в роботі [9], де при автоматизованому проєктуванні враховуються кінематичні параметри ВП і заготовки. В роботі також проведені експериментальні дослідження, які довели ефективність схем закріплення, що отримані методами автоматизованих обчислень та задовольняють різним обмеженням, які зазвичай накладаються в реальних виробничих умовах.

Цікавим питанням оптимізації конструкцій ВП та схеми закріплення для заготовок зі змінною жорсткістю з метою підвищення якості та забезпечення сталості оброблення на всіх її поверхнях займалися Li G. та ін. у [10], де автори запропонували статичну модель сили різання для отримання мінімальної сили затиску, необхідної для підтримки стабільності закріплення та розділили заготовку на зони жорсткості, що в сукупності з генетичним алгоритмом дозволило зменшити похибки форми та підвищити якість поверхні при торцевому фрезеруванні на 9 %, що підтверджено експериментально.

Chai S. та ін. у [11] запропонували нову конструкцію допоміжної опори для підвищення жорсткості та контролю деформацій з адаптивною зміною сили опору в залежності від дії зовнішніх сил для тонкостінних корпусних деталей. Експериментальні дослідження показали ефективно зменшення вібрацій та стабілізацію якості поверхні.

У [12] запропоновано конструкцію модульного пристрою зі змінною жорсткістю для операції чорнового фрезерування, принцип якого полягає в автоматизованому керуванні жорсткістю поворотної пружини вихровими токами. Також експериментальними дослідженнями статичної та динамічної жорсткості під впливом зовнішніх вертикальних сил та моментів займалися J. Abou-Hanna та ін., що відображено у [13], де результати досліджень представлені у вигляді залежностей деформацій поверхонь заготовки від глибини різання, сили закріплення та поперечного перерізу заготовки.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питаннями експериментальних досліджень та підвищенням жорсткості при обробленні деталей малої або змінної жорсткості займалися багато науковців, але ними не розглядалися типи ВП з неповним базуванням, де силам різання на певних напрямках протидіють лише сили закріплення. Також не виконувалось експериментальні дослідження ВП саме для оброблення деталей типу нерознімних шатунів за одне установлення при неповному базуванні й закріпленні по необроблюваним поверхням.

Метою статті є експериментальне доведення можливості оброблення нерознімних шатунів у ВП з неповним базуванням та закріпленням лише по необроблюваним поверхням за одне установлення із досягненням усіх необхідних показників розмірної точності.

Виклад основного матеріалу. Шатун є основним елементом будь-якого кривошипно-шатунного механізму та використовуються в усіх класичних компоновках двигунів внутрішнього згоряння. Шатун являє собою зв'язуючу деталь між поршнем, що рухається поступально, та колінчастим валом, що здійснює обертальний рух. Сучасні двигуни внутрішнього згоряння мають суттєво більшу потужність ніж двигуни аналогічного робочого об'єму, виготовлені 20-30 років тому. В основному підвищення потужності досягається шляхом підвищення частоти обертання колінчастого вала двигуна, наявністю нагнітача повітря у вигляді турбокомпресора чи турбіни та збільшення ступеня стиснення. Всі ці підвищені навантаження, що надходять із камери згоряння через рух поршня за допомогою шатуна передаються на колінчастий вал.

Об'єктом дослідження обрано деталі типу шатуни. Шатуни мають досить різноманітну конструкцію залежно від службового призначення виробу/машини, де працює шатун. Проте з усіх конструкцій шатунів у цій роботі будемо розглядати найбільш прості з погляду технології оброблення нерознімні шатуни, деякі варіанти конструкції яких представлені на рис. 1.



Рис. 1. Конструкції нерознімних шатунів:

а – мотоцикла Yamaha RD400; б – легкого скутера Alpha 125cc;
в – мотоцикла Suzuki RMX450Z; г – скутера Piaggio Carnaby 200

Джерело: <https://moto-max.com.ua>.

Нерознімні шатуни переважно використовуються у двигунах мотоциклів, скутерів, мопедів, бензопил та іншої невеликої техніки мототехніки.

Усі отвори та площини шатунів пов'язані між собою вимогами до міжцентрових відстаней між ними, паралельності осей, та вимогами до просторового положення плоских поверхонь одна відносно іншої. Через широку розповсюдженість нерознімних шатунів у негабаритних двигунах внутрішнього згоряння підвищення продуктивності їх оброблення є актуальним завданням. Нерознімні шатуни, на відміну від рознімних, являють собою одну деталь протягом усього ТП їх виготовлення, тому їх було обрано як об'єкт для аналізу та подальшого розроблення конструкції ВП. Нерознімні шатуни характеризуються великою кількістю необроблюваних поверхонь та складною просторовою геометричною формою, що спричиняє певні труднощі при базуванні та закріпленні заготовок та призводить до збільшення трудомісткості оброблення через збільшення кількості технологічних операцій, тому доцільним у цій роботі вважаємо розглянути саме оброблення нерознімних шатунів.

Сьогодні на світових ринках і у побуті представлено велике різноманіття моделей автомобілів, тракторів та мототехніки, поршневих компресорів та інших машин, що містять у своїй конструкції шатуни. Проте, як видно з рис. 1, конструкції нерознімних шатунів майже не відрізняються. При цьому типорозміри та конструктивні параметри нерознімних шатунів досить схожі й в одному ВП можна буде виконувати їх оброблення. Використання сучасних прогресивних верстатів дозволяє відійти від принципу повної орієнтації заготовки у ВП, а вимагає лише надійного закріплення, щоб забезпечити надійність положення заготовки у процесі оброблення.

У [14] було запропоновано прогресивний ТП оброблення нерознімних шатунів за один установ у ВП із неповним базуванням, на який було отримано патент на корисну модель [15]. Ця конструкція ВП була досліджена методами чисельного моделювання і результати, що представлені у роботі [14], за показниками напружень, переміщень та власних частот коливань дають можливість говорити про перспективний напрямок досліджень і розроблень ВП, заснованих на принципі неповного базування. Схема базування у ВП, що захищений патентом на корисну модель [15] (рис. 2), передбачає наявність установлювальної бази по одній з більш широких необроблюваних площин шийки шатуна та напрямної бази по одній із площин меншої ширини, що також необроблена (рис. 3), а закріплення відбувалось по площині меншої ширини, що протилежна напрямній базі. Запропонований ВП, призначений для встановлення нерознімних шатунів різних типорозмірів у діапазоні довжини 140-200 мм, ширини 35-50 мм та висоти 17-24 мм, що здійснюється шляхом регулювання гвинтових механізмів, які забезпечують зміну відстані між установлювально-затискними елементами (рис. 2).

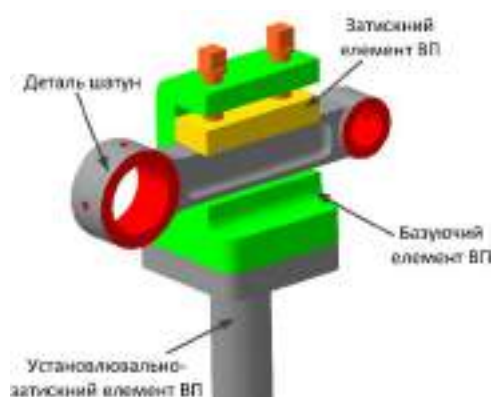


Рис. 2. Гнучкий ВП із неповним базуванням [15]

Джерело: розроблено авторами.

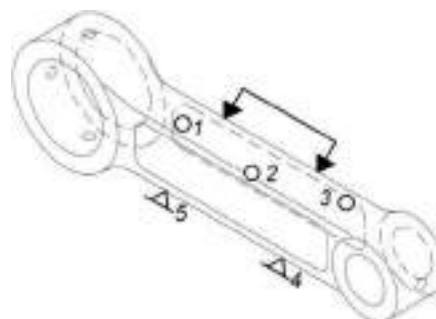


Рис. 3. Схема базування у гнучкому ВП
Джерело: розроблено авторами.

Проте в результаті досліджень напружено-деформованого стану [14] було виявлено, що пружні деформації у корпусній частині скоби все ж виникали і не дозволяли повною мірою використати максимальну силу закріплення, що могли б витримати гвинти, яка потрібна для забезпечення сталого положення при обробленні шатунів із максимальними габаритними розмірами, що дозволяє технічна характеристика ВП.

Таким чином, для мінімізації впливу пружних деформацій під час затягування гвинтів та збільшення площі поверхні для закріплення ВП [15] було вдосконалено шляхом зміни принципу закріплення шатуна. Базові поверхні залишаються також необробленими, установлювальною базою залишається одна з більш широких необроблюваних площин шийки шатуна, напрямною базою являється одна з площин меншої ширини (рис. 4), а закріплення відбуватиметься по площині більшої ширини, що протилежна установлювальній базі. 3D – модель удосконаленого ВП зображено на рис. 5.

Оскільки принцип дії запропонованого ВП (рис. 5), як і ВП, що уже був досліджений методами чисельного моделювання (рис. 3) у [14] заснований на необхідності забезпечення абсолютної надійності закріплення, то для визначення можливості досягнення точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь при проведенні механічного оброблення першим кроком необхідно виконати статичний аналіз ВП. Для цього виконувалось чисельне моделювання напружено-деформованого стану та визначено переміщення елементів системи «ВП – заготовка» у модулі Static Structural розрахункового комплексу ANSYS Workbench.

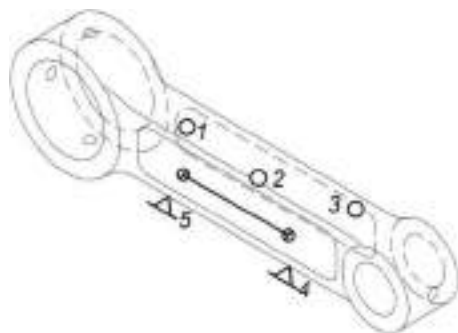


Рис. 4. Схема базування в удосконаленому гнучкому ВП
 Джерело: розроблено авторами.

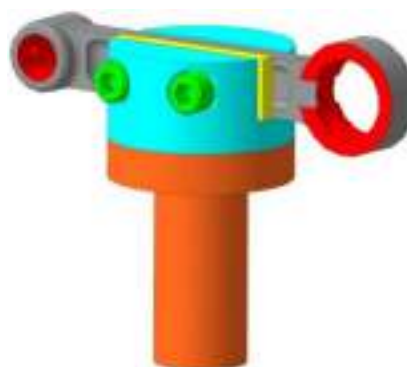


Рис. 5. 3D-модель удосконаленого гнучкого ВП із неповним базуванням
 Джерело: розроблено авторами.

При моделюванні задавались такі граничні умови (табл. 1) та властивості матеріалу ВП та заготовки, аналогічними як і у [14]. Модель ВП враховує кулонівське тертя між контактними поверхнями ВП, які мають приблизно однакову величину шорсткості (1,6 мкм за критерієм Ra) з коефіцієнтом 0,1.

Таблиця 1 – Групи контактних пар удосконаленого ВП для шатунів

Верстатний пристрій і схема розташування контактів				
Базова поверхня/ тип закріплення	Параметри реалізованих груп з'єднань			
	Контакт	Поверхні, що контактують	Вид поверхонь, що контактують	Коефіцієнт тертя f
циліндрична поверхня пристрою/ fixture support	1	поверхня прижимної пластини / верхня поверхня шийки шатуна	рифлені / необроблені	0,7
	2	торцева поверхня опори / торцева площина шийки шатуна	гладкі / необроблені	0,2

Джерело: розроблено авторами

У процесі моделювання відбувалося прикладення сил та моментів різання до кожної з оброблюваних поверхонь по чергово, оскільки за технологічними можливостями верстат може виконувати одне інструментальне оброблення. Значення сил на різних переходах оброблення варіювалось в межах 505...2937 Н та крутних моментів 45...142 Н·м залежно від способу та стадії оброблення. При цьому на прижимну пластину з боку гвинтів діяла постійна сила закріплення 2000 Н, прикладена до кожного з них.

Сукупність даних граничних умов дозволили реалізувати моделювання реального процесу під час статичного навантаження. При цьому отримані значення максимальних еквівалентних напружень за IV гіпотезою міцності Губера-Мізеса і максимальних переміщень елементів системи «ВП – заготовка» (табл. 2). Також для порівняння в табл. 2 зведені аналогічні показники для ВП (рис. 3), що досліджувався у [14].

Таблиця 2 – Порівняння результатів чисельного моделювання гнучкого ВП із неповним базуванням та удосконаленого ВП для шатунів

Технологічний перехід, де виникають найбільші навантаження	Максимальні переміщення елементів ВП, мм				Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа		Допустимі напруження, МПа
	удосконаленого		[патент] (рис. 3)			удосконаленого	[патент] (рис. 3)	
	за осями	загальні	за осями	загальні				
Фрезерування торця великої бобишки	0,014	0,059	0,021	0,071	0,13	241	377	600
Свердління отвору діаметром 15,5 мм у малій бобишці	0,052	0,068	0,069	0,093	0,15	298	412	600
Розсвердлювання отвору діаметром 29,5 мм у великій бобишці	0,051	0,084	0,072	0,121	0,15	276	372	600

Джерело: розроблено авторами.

Відповідно до результатів чисельного моделювання переміщення, що виникають на всіх переходах механічного оброблення, в удосконаленому ВП не перевищують як абсолютних допустимих значень, так і значень за осями координат. Це свідчить про те, що задана конструктором точність буде витримана. Напруження під час прикладення статичного навантаження в удосконаленому ВП також знаходяться в допустимих межах. Також при порівнянні напружень і переміщень в удосконаленому ВП і ВП (рис. 3), що був досліджений раніше встановлено, що вони менші за показники аналогічних переходах. При цьому максимально напруженим елементом у системі є саме заготовка. Отримані результати дозволяють перейти до експериментальних досліджень напружено-деформованого стану системи «ВП – заготовка» для удосконаленого ВП.

Експериментальні дослідження напружено-деформованого стану системи «ВП – заготовка» є наступним етапом для переходу до оброблення в динамічному режимі. Також експеримент в статичі необхідний для перевірки адекватності результатів чисельного моделювання, шляхом зіставлення їх з результатами натурних експериментів для удосконаленого ВП, який був виготовлений за номінальними розмірами, аналогічними розмірам у моделі (рис. 5). Як експериментальний зразок було взято шатун від мотоцикла Honda 200 cb, фото якого зображено на рис. 6, а, а ескіз з основними розмірами на рис. 6, б. Також на рис. 7 представлений експериментальний зразок удосконаленого ВП.

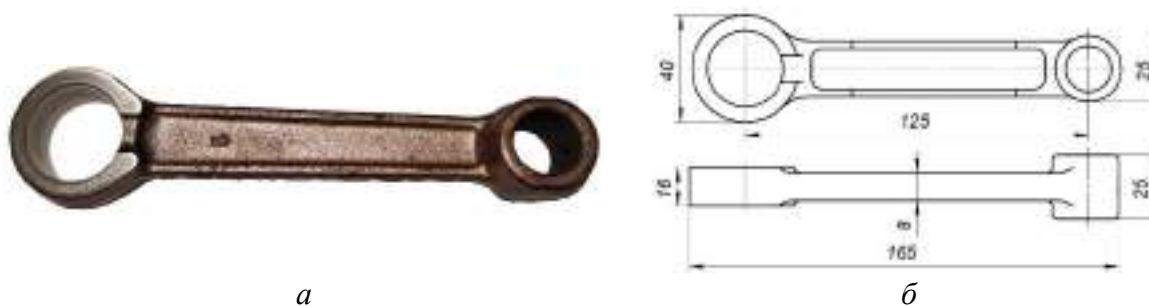


Рис. 6. Шатун мотоцикла Honda 200 cb200:
а – фото; б – ескіз з основними розмірами

Джерело: розроблено авторами.



Рис. 7. Експериментальний зразок удосконаленого ВП з неповним базуванням для оброблення деталей типу шатуни

Джерело: розроблено авторами.

Статичні експериментальні дослідження передбачали прикладання навантажень до місць оброблюваних поверхонь деталі та вимірювання величин переміщень у точці прикладання навантаження. Це було реалізовано шляхом створення експериментальної установки (рис. 8) для закріплення ВП і прикладення до нього навантажень на базі широкоуніверсального фрезерного верстата моделі 676.

На фотографії експериментальної установки (рис. 8) удосконалений ВП 1 (рис. 5) закріплювався в трьохкулачковому патроні 2, який, у свою чергу, був встановлений на столі верстата. Сила, що діє на заготовку, прикладалась через оправку шпинделя 3, встановлену у шпинделі верстата. Також у кожному з головок шатуна були по чергово встановлені оправки 4 для можливості базування механічного динамометра 5. Динамометр моделі Mohr & FEDERHAFF MANNHEIM являє собою таровану пружинну скобу, жорсткість якої відома та становить 6 Н/мкм. Динамометр оснащений індикатором годинникового типу моделі МІГ1 ГОСТ 9696-82, ціна поділки якого становить 1 мкм. Переміщення елементів ВП фіксувалось за допомогою індикатора 6 також моделі МІГ1 ГОСТ 9696-82, що встановлений в індикаторній стійці на столі верстата та контактує своєю вимірювальною поверхнею із торцем бобишки, що протилежний торцю, до якого прикладається сила. Значення навантажень відповідали значенням, що задавались під час чисельного моделювання.



Рис. 8. Експериментальна установка для визначення переміщень елементів ВП

Джерело: розроблено авторами.

У результаті експериментальних досліджень отримали значення десяти величин переміщень на кожному з досліджуваних переходів механічного оброблення (рис. 9) та визначили середньоарифметичні значення переміщень. Дані значення було зведено у

табл. 3 та виконано чисельне порівняння відповідних величин, визначені абсолютні та відносні відхилення експериментальних даних і даних, отриманих у результаті чисельного моделювання.

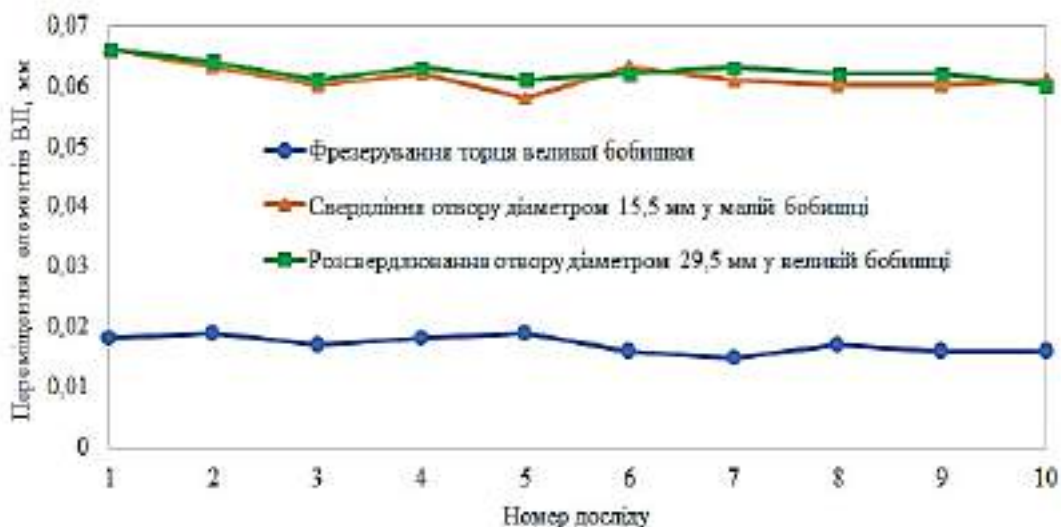


Рис. 9. Результати експериментальних дослідів визначення переміщень ВП на переходах

Джерело: розроблено авторами.

У результаті експериментальних досліджень та визначення середньоарифметичних значень переміщень по оброблюваним поверхням на найбільш навантажених переходах і зведення їх у табл. 3 було отримано чисельне порівняння відповідних величин, визначені абсолютні та відносні відхилення експериментальних даних і даних, отриманих у результаті чисельного моделювання.

Таблиця 3 – Порівняння результатів чисельного моделювання гнучкого ВП із неповним базуванням та удосконаленого ВП для шатунів

Технологічний перехід, де виникають найбільші навантаження	Максимальні переміщення елементів удосконаленого ВП вздовж осі вимірювання, мм		Допустимі переміщення, мм	Величина допустимого запасу по переміщенням, мм	Абсолютне відхилення, мм	Відносне відхилення, %
	під час чисельного моделювання	під час експериментальних досліджень				
Фрезерування торця великої бобишки	0,014	0,017	0,13	0,113	0,003	17,6
Свердління отвору діаметром 15,5 мм у малій бобишці	0,052	0,061	0,15	0,089	0,009	14,7
Розсвердлювання отвору діаметром 29,5 мм у великій бобишці	0,051	0,062	0,15	0,088	0,011	17,7

Джерело: розроблено авторами.

Із результатів, що представлені в табл. 3 видно, що величини переміщень, отриманих експериментальним шляхом не перевищують допустимих значень цих параметрів, хоча і є вищими ніж під час чисельного моделювання в межах 14,7...17,7 % залежно від переходу механічного оброблення. Це можна пояснити реальними умовами експерименту та похибками, що виникають під час виготовлення та виконання вимірювань. Хоча в цьому

випадку максимальна відносна похибка становила менше за 20 %, при тому, що величина запасу до допустимих значень переміщень є доволі суттєвою у порівнянні із самими значеннями переміщень на конкретних переходах.

Висновки. На основі чисельного моделювання величини напружень та переміщень в удосконаленому ВП, що був розроблений із застосуванням принципів неповного базування, теоретично доведено, що величини напружень в елементах конструкції ВП не перевищують допустимих значень за характеристиками матеріалів системи «ВП – заготовка». При цьому величина напружень на 26...36 % менша від значень на відповідних переходах у порівнюваному ВП. Також встановлено, що величини загальних переміщень оброблюваних поверхонь в удосконаленому ВП, який був розроблений на основі дослідженого раніше технічного рішення, не перевищують допусків на оброблювальні поверхні та на 17...30 % менші за відповідні значення з порівнюваним ВП. Значення переміщень за осями координат вздовж яких прикладалось навантаження також не перевищують допустимих конструктором значень та 25...33 % менші за відповідні показники із порівнюваним ВП.

Вперше експериментально доведено, що конструкція удосконаленого ВП для оброблення шатунів здатна забезпечувати необхідну точність оброблення при статичному навантаженні, адже величини переміщень хоча і більші, ніж під час чисельного моделювання на 3...11 мкм, що у відносному вираженні становить 14,7...17,7 % залежно від переходу механічного оброблення, проте не перевищують допустимих значень.

Встановлено, що величина допустимого запасу по переміщенням на окремих переходах варіюється від 0,088 мм до 0,113 мм, тобто залишається певний запас точності на можливі похибки механічного, що неминуче виникнуть під час оброблення.

Отримані результати дозволяють говорити про перспективи застосування ВП із неповним базуванням для оброблення нерознімних шатунів за одне установаження на підприємствах із дрібносерійним типом виробництва та загалом про доцільність проектування ВП, заснованих на такому принципі для інших класів деталей складної форми. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на експериментальні дослідження характеристик точності та жорсткості ВП в динамічному режимі під час здійснення процесу оброблення.

Список використаних джерел

1. Диба М. І. Виклики Індустрії 4.0 у контексті її становлення на глобальному і національному рівнях / М. І. Диба, Ю. О. Гернего // Економіка України. – 2020. – № 6. – С. 43-59.
2. Кваша О. І. Реалізація концепції «LEAN PRODUCTION» як спосіб заощадження у національному виробництві / О. І. Кваша, О. В. Бондар-Підгурська // Європейський вектор модернізації економіки: креативність, прозорість та сталий розвиток: тези доповідей. – Х. : ХНУБА, 2018. – С. 129-132.
3. Lean Manufacturing, LEAN. (2022, 10 вересня) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/lean-manufacturing>.
4. Издательство стандартов (1978). Класс 72. Иллюстрированный определитель деталей. Классификатор ЕСКД 1.79.100 ОК 012-78.
5. Mouli S. Productivity improvement of a small scale industry by the application of an effective plant layout and weld-fixture design / S. Mouli, S. Kulkarni, S. Deepak // Materials Today: Proceedings. – 2022. – Vol. 52, No. 3. – Pp. 367–372.
6. Computer aided machining fixture design algorithm and software based on case learning for near-net-shaped jet engine blade / D. Wu, H. Wang, L. Huang, Y. Wang // Journal of Manufacturing Processes. – 2021. – Vol. 69. – Pp. 545–555.
7. Kopec M. Deformation of thin metal and composite sheets by using anti-buckling fixture for large deformation under tension–compression cyclic loading / M. Kopec, Z. Kowalewski // Thin-Walled Structures. – 2022. – Vol. 180. – Pp. 109886–109909.
8. Mori K. Estimation of supporting fixture receptance for thin-walled milling / K. Mori, A. Matsubara // CIRP Annals. – 2022. Vol. 71, No. 1. – Pp. 333–336.
9. Gašpar T. Optimal layout and reconfiguration of a fixturing system constructed from passive Stewart platforms / T. Gašpar, I. Kovač, A. Ude // Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – Vol. 60. – Pp. 226-238.

10. Elastic mechanics-based fixturing scheme optimization of variable stiffness structure workpieces for surface quality improvement / G. Li, S. Du, D. Huang, C. Zhao, Y. Deng // *Precision Engineering*. – 2019. – Vol. 56. – Pp. 343–363.
11. An adaptive fixture for suppress vibrations and measuring workpiece deformation of thin-walled casings / S. Chai, L. Ouyang, Q. Bi, J. Yu, Y. Zhang // *Procedia CIRP*. – 2021. – Vol. 101. – Pp. 322–325.
12. Design of self-tuneable mass damper for modular fixturing systems / J. Munoa, A. Iglesias, A. Olarra, Z. Dombovari, M. Zatarain, G. Stepan // *Procedia CIRP*. – 2016. – Vol. 65, No. 1. – Pp. 389–392.
13. Experimental study of static and dynamic rigidities of flexible particulate bed fixtures under external vertical and torque loads / J. Abou-Hanna, K. Okamura, T. McGreevy // *Journal of Manufacturing Systems*. – 1994. – Vol. 13, No. 1. – Pp. 451–452.
14. Development of Flexible Fixtures with Incomplete Locating: Connecting Rods Machining Case Study / V. Ivanov, F. Botko, I. Dehtiarov, M. Kočiško, A. Evtuhov, I. Pavlenko, J. Trojanowska // *Machines*. – 2022. – Vol. 10, No. 7. – Pp. 493–506.
15. Переналагоджуваний верстатний пристрій для оброблення деталей типу шатуни (Український патент № 149174) [Електронний ресурс] / І. М. Дегтярьов, В. О. Іванов, І. О. Косов, Є. С. Лобов, І. В. Павленко, І. С. Парфенцев // Державна служба інтелектуальної власності України. – 2021. – Режим доступу: <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=278691>.

References

1. Dyba, M., & Gernego Y. (2020). Vyklyky Industriyi 4.0 u konteksti yiyi stanovlennya na hlobal"nomu i nacional"nomu rivniakh [Challenges of Industry 4.0 in the context of its development at the global and national levels]. *Ekonomika Ukrainy – Ukraine economy*, (6), 43–59.
2. Kvasha, I.O., & Bondar-Pidgurs'ka, O.V. (2018). *Realizaciya konceptsii «LEAN PRODUCTION» yak sposib zaoshhadzhennya u natsionalnomu vyrobnytstvi. Yevropeyskyi vektor modernizatsii ekonomiky: kreatyvnyist, prozorst ta stalji rozvytok [Implementation of the "LEAN PRODUCTION" concept as a way of saving in national production. The European vector of economic modernization: creativity, transparency and sustainable development]*. Kharkiv.
3. Lean Manufacturing, LEAN. <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/lean-manufacturing>.
4. *Izdatelstvo standartov [Standards publishing house] (1978). Klass 72. Ilyustry'rovannij opredelytel detalej. Klassyfykator ESKD 1.79.100 OK 012-78 Class 72 [Illustrated part guide. Classifier ESKD 1.79.100 OK 012-78]*.
5. Mouli, C., Kulkarni, S., & Deepak, S. (2022). Productivity improvement of a small scale industry by the application of an effective plant layout and weld-fixture design. *Materials Today: Proceedings*, 52(3), 367–372.
6. Wu, D., Wang, H., Huang, L., & Wang, Y. (2021). Computer aided machining fixture design algorithm and software based on case learning for near-net-shaped jet engine blade. *Journal of Manufacturing Processes*, 69, 545–555.
7. Kopec, M., & Kowalewski, Z. (2022). Deformation of thin metal and composite sheets by using anti-buckling fixture for large deformation under tension–compression cyclic loading. *Thin-Walled Structures*, 180, 109886–109909.
8. Mori, K., & Matsubara, A. (2022). Estimation of supporting fixture receptance for thin-walled milling. *CIRP Annals*, 71(1), 333–336.
9. Gašpar, T., Kovač, I., & Ude, A. (2021). Optimal layout and reconfiguration of a fixturing system constructed from passive Stewart platforms. *Journal of Manufacturing Systems*, 60, 226–238.
10. Li, G., Du, S., Huang, D., Zhao, C., & Deng, Y. (2019). Elastic mechanics-based fixturing scheme optimization of variable stiffness structure workpieces for surface quality improvement. *Precision Engineering*, 56, 343–363.
11. Chai, S., Ouyang, L., Bi, Q., Yu, J., & Zhang Y. (2021). An adaptive fixture for suppress vibrations and measuring workpiece deformation of thin-walled casings. *Procedia CIRP*, 101, 322–325.
12. Munoa, J., Iglesias, A., Olarra, A., Dombovari, Z., Zatarain, M., Stepan, G. (2016). Design of self-tuneable mass damper for modular fixturing systems. *Procedia CIRP*, 65(1), 389–392.
13. Abou-Hanna, J., Okamura, K., McGreevy, T. (1994). Experimental study of static and dynamic rigidities of flexible particulate bed fixtures under external vertical and torque loads. *Journal of Manufacturing Systems*, 13(1), 451–452.
14. Ivanov, V., Botko, F., Dehtiarov, I., Kočiško, M., Evtuhov, A., Pavlenko, I., Trojanowska, J. (2022). Development of Flexible Fixtures with Incomplete Locating: Connecting Rods Machining Case Study. *Machines*, 10(7), 493–506.

15. Dehtiarov, I., Ivanov, V., Kosov, I., Lobov, E., Pavlenko, I., Parfentsev, I. (2021) *Perenalagodzhuvanyj verstatnyj prystrij dlya obroblennya detalej typu shatuny* (Ukrayinskyj patent № 149174). Derzhavna sluzhba intelektualnoyi vlasnosti Ukrainy. [Reconfigurable machine tool for processing connecting rod-type parts (Ukrainian patent No. 149174). State Service of Intellectual Property of Ukraine]. <https://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=278691>.

Отримано 30.09.2022

UDC 621.9-1/-9

Ivan Dehtiarov¹, Anna Neshta², Illia Kosov³, Yaroslav Klok⁴

¹PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumv, Ukraine)

E-mail: ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

Scopus Author ID: [57192084069](https://orcid.org/0000-0001-8535-987X)

²PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumv, Ukraine)

E-mail: anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4072-5439>

Scopus Author ID: [55884734500](https://orcid.org/0000-0003-4072-5439)

³PhD Student of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumv, Ukraine)

E-mail: iyakosov95@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6472-6554>

⁴Student of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools
Sumy State University (Sumv, Ukraine)

E-mail: yarikklok11@gmail.com

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE RIGIDITY OF FIXTURES WITH INCOMPLETE LOCATION FOR CONNECTING ROD TYPE PARTS

The use of modern machining centers with wide technological capabilities and the active development of productions with a small-scale form of organization necessitates an increase in the efficiency of fixtures capable of ensuring sufficient accuracy of machining with minimal costs.

Classical approaches to the design of fixtures do not always allow machining with one installation with high-performance cutting conditions, so it is necessary to move the new approaches that allow maximum tool availability, which is important for the competitiveness of enterprises.

The analysis of research and publications on numerical modeling and experimental research on the processing of parts of a complex shape that have insufficient rigidity showed that the issues of static research of the stress-deformation state of fixtures with incomplete locating have received little attention in the scientific literature.

The purpose of the article is to experimentally demonstrate the possibility of machining non-separable connecting rods in machine tools with incomplete basing and fastening only on unprocessed surfaces in one installation with the achievement of all the necessary indicators of dimensional accuracy.

The work presents for the first time an improved fixture with an incomplete location for machining connecting rod-type parts, and experimental studies of its stress-strain state in static mode are performed. The determined values of stresses and displacements compared with the previously proposed machine tool showed its technical advantage in bearing capacity for loads acting during machining.

In this work, it was experimentally proven for the first time that the design of the improved fixture for machining connecting rods is capable of providing the necessary machining accuracy under static load and at the same time has a margin of accuracy that exceeds the value of deformations by 1.5...2.5 times. The presented results and the positive experience of manufacturing a sample of a fixture can be used for its further research in a dynamic mode directly during machining, as well as for the design of technological equipment for parts of other classes, using an approach that involves incomplete locating of the workpiece.

Keywords: accuracy; deviation; tension; numerical simulation; error.

Tabl.: 3. **Fig.:** 9. **References:** 15.

Антон Карпеченко¹, Тетяна Макруха², Олександр Дубовий³, Максим Бобров⁴

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв, Україна)

E-mail: anton.karpechenko@nuos.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7543-4159>. ResearcherID: [57194341724](https://orcid.org/57194341724)

²кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної механіки та інформаційних технологій

Економіко-технологічний інститут імені Роберта Ельворгі (Кропивницький, Україна)

E-mail: tmakruha@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8841-1688>. ResearcherID: [57222660526](https://orcid.org/57222660526)

³доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри матеріалознавства і технології металів

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв, Україна)

E-mail: oleksandr.dubovyi@nuos.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2843-1879>. ResearcherID: [57194338570](https://orcid.org/57194338570)

⁴кандидат технічних наук, докторант кафедри матеріалознавства і технології металів

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (Миколаїв, Україна)

E-mail: laborantmtm@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9098-6912>. ResearcherID: [57194197238](https://orcid.org/57194197238)

НАНОСТРУКТУРУВАННЯ КРИСТАЛІЧНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА НАПИЛЕНИХ ПОКРИТТІВ ПЕРЕДРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОЮ ТЕРМІЧНОЮ ОБРОБКОЮ

У статті висвітлено доцільність застосування передрекристиалізаційної термічної обробки (ПТО) попередньо деформованих технічно чистого заліза, вуглецевих та легованих сталей для підвищення їхньої твердості за рахунок формування полігонізаційної субструктури, здебільшого нанорозмірної. Показано, що збільшення вмісту вуглецю та хрому у сталях, при короткочасній витримці при температурі рекристиалізації, призводить до зниження приросту твердості. Комбіноване деформування (динамічне та статичне) надає можливість збільшити час витримки до 60 хв за рахунок формування термічно стабільної полігонізаційної субструктури. Визначено оптимальний режим ПТО теплозахисного плазмового покриття, що забезпечує підвищення твердості на 13 % та зниження теплопровідності керамічного шару на 15 % у порівнянні зі станом після напилення за рахунок субструктурних змін.

Ключові слова: передрекристиалізаційна термічна обробка; субструктура; нанорозмірні елементи; теплозахисні покриття, твердість, теплопровідність.

Рис.: 9. Табл.: 3. Бібл.: 13.

Актуальність теми дослідження. Сучасне високотехнологічне виробництво потребує нових матеріалів з унікальними властивостями, а їх застосування в конструкціях визначається співвідношенням між міцністю та пластичністю, тому металеві матеріали характеризуються найпривабливішим з погляду практичної доцільності співвідношенням. Приріст міцнісних властивостей останніми роками забезпечується в основному за рахунок цілеспрямованого формування здрібненої мікро- і нанокристалічної структури.

Постановка проблеми. Подрібнення зеренної (субзеренної) структури до нанокристалічного стану здійснюють переважно найпоширенішими методами інтенсивної пластичної деформації (ІПД). До методів ІПД належать інтенсивна пластична деформація крученням під високим тиском і рівноканальне кутове пресування (РККП), яке найбільш широко застосовується та має різновиди: деформування тертям і метод всебічного кування (пресування). Всебічне ізотермічне кування подається як один з основних і ефективних методів наноструктурування масивних (до 50 кг) виробів. Об'ємне наноструктурування методами ІПД застосовується в техніці для одержання виробів невеликого розміру (авіаційні кріплення, медичні імпланти, деталі приладів тощо). Наноструктурування деталей великого розміру методами ІПД викликає значні технічні та технологічні труднощі і не є економічно доцільним. Основна частина цих методів не доведена до практичного застосування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Високих показників фізико-механічних властивостей металів і сплавів можна досягти наноструктуруванням [1]. Подрібнення зеренної (субзеренної) структури до нанокристалічного стану здійснюють переважно найпоширенішими методами інтенсивної пластичної деформації [2]. Однак на сьогодні промислові методи отримання наноструктури по всьому об'єму реального виробу є досить складними і, як наслідок, дорогими з економічного погляду [3].

В останні десятиріччя використовуються способи механотермічної і термомеханічної обробки, які дозволяють підвищити якість прокатних і кованих виробів шляхом формування полігонізаційної субструктури [4-6]. Для формування такої субструктури використовується і фазовий наклеп (подвійне гартування) [7], у результаті якого міцнісні характеристики можуть підвищитись до 60 %. Отримання полігонізаційної субструктури у високовуглецевих сталях за допомогою високотемпературної термомеханічної обробки при 1050 °C забезпечує підвищення міцності до 30%, ударної в'язкості – вдвічі [6].

У роботі [8] описано спосіб термомеханічного зміцнення сталей при пластичній деформації $\varepsilon = 20 \dots 40$ % з наступним гартування при температурі 800...900 °C. У результаті після такого термомеханічного зміцнення збільшується дисперсність мікроструктури сталей, а твердість знаходиться у діапазоні 50...55 HRC.

Автори роботи [9] пишуть про можливість підвищення міцнісних властивостей сталей 12X18H12T та 12X1МФ при різних ступенях деформації ($\varepsilon = 6,25; 12,5; 18,75; 25,0$ та 37,5 %) за температури (650±10) °C впродовж 1...10 год, після чого показники міцності підвищуються на 12...14 %, проте пластичність знижується на 25 %.

При дослідженні впливу гарячої деформації сталі 60 [10] було встановлено, що при гарячій пластичній деформації на 10...50 % при температурі 800...1000 °C можна зменшити розмір зерна аустеніту, однак даний показник залишається в діапазоні 45...160 мкм, що не відповідає наноструктурному масштабу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. У зв'язку з цим розробка нових методів наноструктурування, спрямованих на поліпшення фізико-механічних властивостей та підвищення показників експлуатаційних характеристик металів і сплавів, а також напилених покриттів є актуальним завданням сучасного матеріалознавства.

Мета роботи полягає у встановленні закономірностей зміни структури та властивостей кристалічних матеріалів після деформаційної та передрекристалізаційної термічної обробки.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для досліджень було обрано зразки технічно чистого заліза (ГОСТ 3836-83), вуглецевих сталей 20, 45 (ГОСТ 1050-88) та У8 (ГОСТ 1435-88), легованих сталей 40Х (ГОСТ 2591-2006), 12Х13 та 12Х18Н9Т (ГОСТ 2590-2006) і теплозахисне плазмове покриття.

Для дослідження структури та субструктури використані методи фізичного матеріалознавства – оптична мікроскопія, скануюча електронна мікроскопія, рентгенівський структурно-фазовий аналіз.

Динамічну деформацію зразків проводили ударною циклічною дією. Статичну деформацію проводили на гідравлічному пресі Losen Housen WLRK (Dusseldorf) з навантаженням до 35 т. Термічну обробку здійснювали в лабораторній електричній печі СНОЛ-1.6.2.0.08/9-М1. Контроль температури здійснювався термопарою хромель-алюмель ТХА (ГОСТ 6616-74).

Аналіз мікроструктури проводили на металографічному мікроскопі MMP-2P та скануючому електронному мікроскопі ZEISS Gemini SEM 500.

Твердість HV_5 визначали на приладі типу «Віккерс» (на повздовжніх шліфах) при навантаженні на індентор 5 кг (ДСТУ ISO 6507-4:2008).

Дослідження теплопровідності покриттів проводили за допомогою вимірювача ИТ-λ-400, що призначений для дослідження залежності коефіцієнта теплопровідності матеріалів від температури в діапазоні 0,1...5,0 Вт/(м·К). Для вимірювання теплопровідності використовується метод динамічного калориметра.

Зйомку дифрактограм проводили за допомогою рентгенівського дифрактометра загального призначення ДРОН-3.0. Розмір областей когерентного розсіювання рентгенівських випромінювань (ОКР) визначали за формулою Шеррера.

Дослідження залежності твердості деформованих технічно чистого заліза, вуглецевої і низьколегованої сталі від часу витримки при температурах, які відповідають температурному порогу їх рекристалізації, показали, що вона носить екстремальний характер з чітким максимумом і надає можливість її підвищення від 15 до 45 % у порівнянні з деформованим станом (рис. 1 та табл. 1).

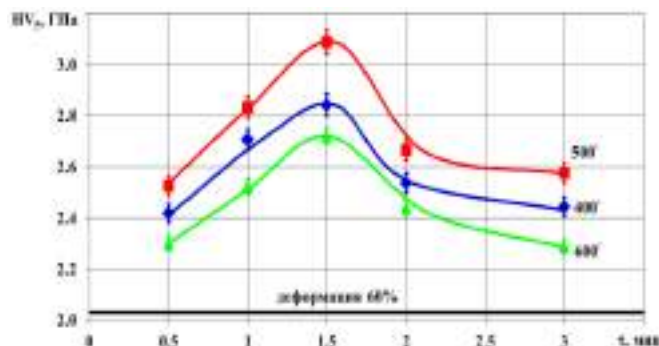


Рис. 1. Залежність твердості від тривалості витримки і температури ПТО технічно чистого заліза

Таблиця 1 – Значення твердості сталі 20 залежно від виду обробки

Вид обробки	Твердість	
	HV ₅ , ГПа	HRC
Відпал 850 °C, 60 хв	1,27	12
Деформація 60 %	1,62 (+28)	16 (+33)
Деформація 60%, ПТО 500 °C, витримка 1,5 хв	2,4 (+89/48)	22 (+83/38)

* у дужках вказано приріст твердості у % відносно відпаленого/деформованого стану.

Наступні дослідження щодо впливу вуглецю на максимальну твердість при недовготривалій витримці при температурі рекристалізації показали, що збільшення його вмісту у сталі приводить до зниження приросту твердості (рис. 2).

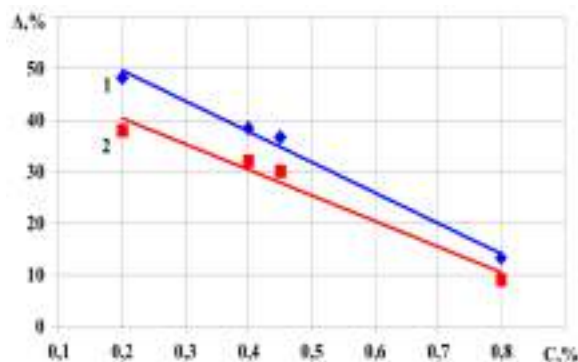


Рис. 2. Залежність приросту твердості після передрекристалізаційної термічної обробки від вмісту вуглецю у сталі:
1 – HV₅, ГПа; 2 – HRC

Така залежність пояснюється тим, що зі збільшенням кількості вуглецю у сталі збільшується кількість цементиту, який, маючи високу твердість, гальмує утворення дислокаційних сплетінь в процесі пластичної деформації [6].

Подібний ефект зменшення приросту твердості після передрекристалізаційної термічної обробки (ПТО) спостерігається і при легуванні сталі хромом. Збільшення концентрації хрому в сталі сприяє утворенню карбідів, які накопичуються на границях субзерен, блокують дислокації при пластичній деформації на початковій стадії полігонізації (табл. 2).

Таблиця 2 – Значення твердості для легованих сталей залежно від виду обробки

Марка сталі	Вид обробки	Твердість	
		HV ₅ , ГПа	HRC
40X	Відпал 760 °С, 60 хв	1,72	20,5
	Деформація 60 %	2,0 (+16)	24 (+17)
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 1 хв	2,35 (+37/18)	28 (+36/16)
12X13	Відпал 740 °С, 60 хв	2,12	32
	Деформація 60 %	2,52 (+21)	39,5 (+23)
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 1,5 хв	2,9 (+40/15)	44,5 (+39/13)
20X13	Відпал 720 °С, 60 хв	2,26	32
	Деформація 60%	2,61 (+17)	40 (+24)
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 2 хв	2,89 (+29/11)	44 (+39/12)
40X13	Відпал 800 °С, 60 хв	2,29	34,5
	Деформація 60 %	2,7 (+16)	41 (+19)
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 2 хв	2,93 (+28/9)	43,5 (+26/6)
12X18H10T	Відпал 860 °С, 60 хв	1,78	19
	Деформація 60 %	2,46 (+38)	24,5 (+29)
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 2 хв	2,7 (+52/10)	27 (+42/10)

* у дужках вказано приріст твердості у % відносно відпаленого/деформованого стану.

У результаті ПТО відбувається поліпшення фізико-механічних властивостей пластично деформованих сталей. Механізм такого поліпшення пов'язаний із здрібненням субструктури, що підтверджується зменшенням розмірів областей когерентного розсіювання рентгенівських випромінювань (табл. 3).

Таблиця 3 – Розмір ОКР сталей до та після ПТО

Марка сталі	Вид обробки	Розмір ОКР, нм
20	Відпал 850 °С, 60 хв	> 200
	Деформація 60 %	149
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 1,5 хв	87
40	Відпал 820 °С, 60 хв	> 200
	Деформація 60 %	198
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 1,5 хв	137
У8	Відпал 750 °С, 60 хв	> 200
	Деформація 60 %	159
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 2 хв	79
20X13	Відпал 720 °С, 60 хв	197
	Деформація 60 %	63
	Деформація 60%, ПТО 500 °С, витримка 2 хв	44
12X18H10T	Відпал 860 °С, 60 хв	> 200
	Деформація 60 %	144
	Деформація 60 %, ПТО 500 °С, витримка 2 хв	76

Відомо, що наноструктурування допомагає поліпшити фізико-механічні властивості не тільки компактних матеріалів, але й покриттів [11-13]. Тому на прикладі теплозахисного плазмового покриття з $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$ було виконано дослідження впливу передрекристалізаційної термічної обробки на зміну їхніх властивостей. Покриття наносили за допомогою установки плазмового напилення УПУ-ЗД, яка укомплектована плазмотроном ПН-14М, на нікелевий жароміцний сплав, який перед напиленням піддавали струменево-абразивній обробці, після чого досліджували зміну твердості та теплопровідності отриманого покриття.

У результаті досліджень визначено оптимальний режим передрекристилізаційної термічної обробки теплозахисного плазмового покриття з $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$, що забезпечує підвищення твердості на 13 % (рис. 3) та зниження теплопровідності керамічного шару на 15 % (рис. 4) у порівнянні зі станом після напилення за рахунок субструктурних змін.

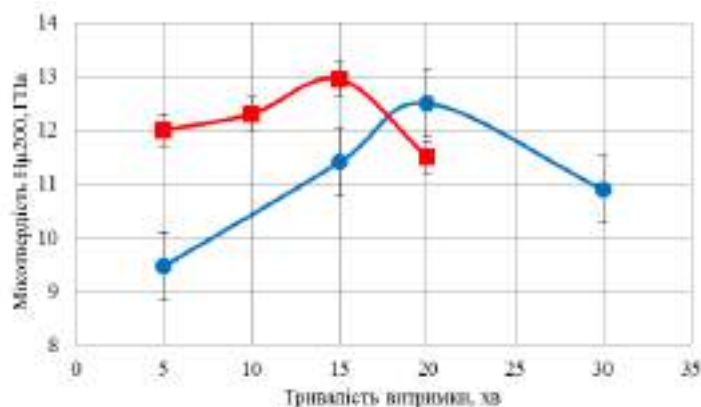


Рис. 3. Залежність мікротвердості плазмових теплозахисних покриттів з $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$ від тривалості витримки при передрекристилізаційній термічній обробці:

● – температура 1200 °C; ■ – температура 1300 °C

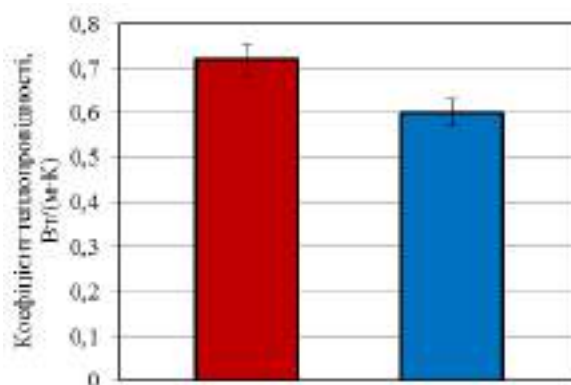


Рис. 4. Результати визначення коефіцієнта теплопровідності плазмових теплозахисних покриттів з $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$:

■ – після напилення, ■ – після оптимальної передрекристилізаційної термічної обробки (1300 °C)

Режим полягає у нагріванні до температури 1300 °C, витримці протягом 15 хв та охолодженні на повітрі.

Представлені мікроструктури теплозахисного плазмового градієнтного покриття (рис. 5) складаються з трьох послідовно напилених шарів: перший підшар – Co-Cr-Al-Y-Si товщина якого становить 110 мкм; другий (проміжний) шар - механічна суміш Co-Cr-Al-Y-Si + 10% (мас.) $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$ товщиною 90 мкм; третій шар - $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$ товщиною 280 мкм. Підшар і проміжний шари слабо диференціюються, мають лускату будову, що пов'язано з достатнім проплавленням металевої складової покриття. У проміжному шарі проглядається сіра фаза $ZrO_2 + 7\% Y_2O_3$. Пористість визначали за допомогою металографії планіметричним методом. Для керамічного шару вона складає близько 10%. Величина деформації керамічних частинок – 76 %.

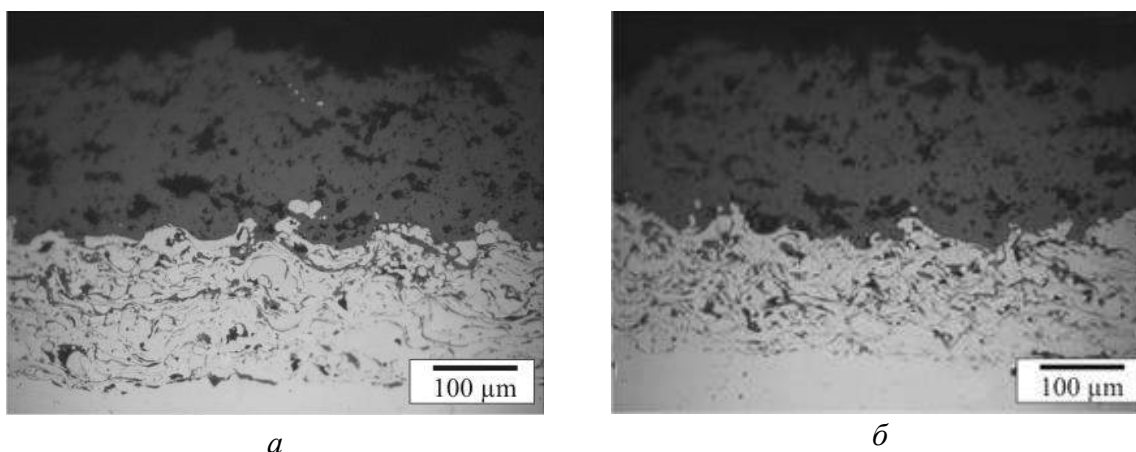


Рис. 5. Мікроструктури теплозахисного градієнтного покриття:
а – після напилення; б – після оптимальної передрекристалізаційної
термічної обробки

Порівняльний аналіз мікроструктур показав, що змін у структурі покриттів до і після термообробки не спостерігається. Це свідчить про те, що зміцнювальний ефект забезпечують структурні елементи, розмір яких менший за 0,5 мкм, що пояснюється роздільною здатністю людського ока та оптичного мікроскопу.

Наноструктурування сталей і напилених покриттів із застосуванням ПТО забезпечує суттєве підвищення фізико-механічних властивостей. Але запропонована обробка має недолік – невелика тривалість витримки (до 5 хв) при температурі рекристалізації, що обмежує застосування запропонованого способу – тільки для деталей малого розміру. Тому далі досліджували можливість отримання термічно стабільної полігонізаційної субструктури після ПТО шляхом комбінування холодної динамічної деформації на 30 % та холодної статичної деформації на 30 % (рис. 6-8).

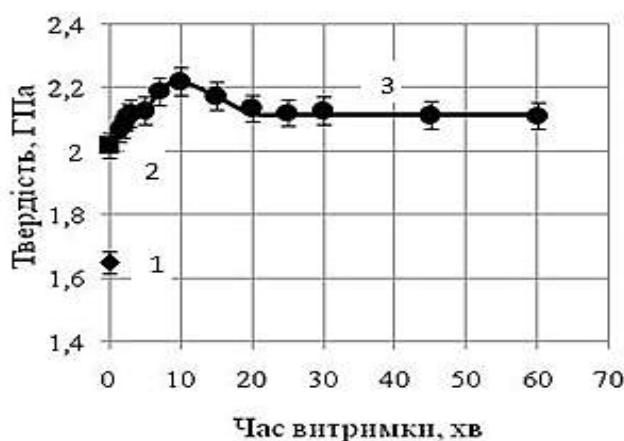
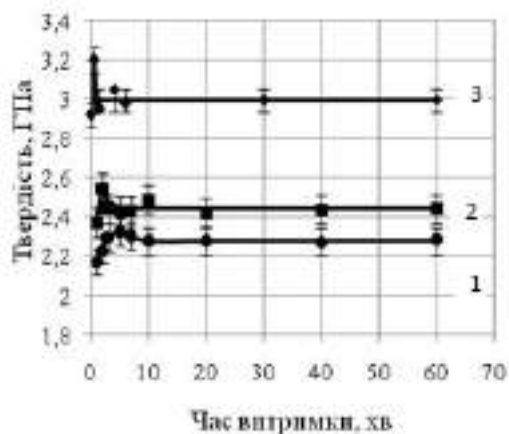
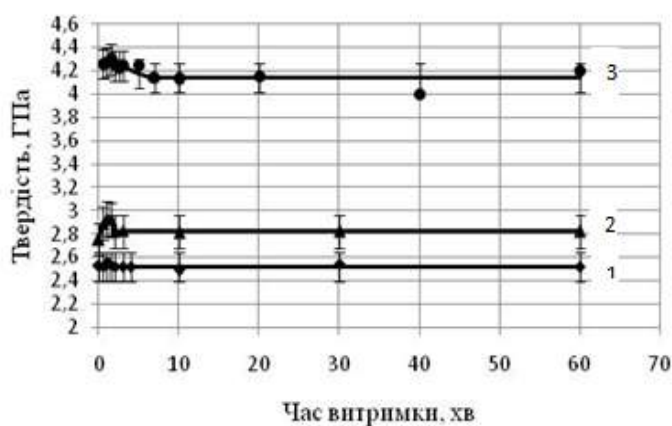


Рис. 6. Вплив часу витримки передрекристалізаційної термічної обробки на твердість комбіновано деформованого технічно чистого заліза
1 – твердість після динамічної деформації на 30 %; 2 – твердість після динамічного та наступного статичного деформування сумарно на 60 %; 3 – твердість після комбінованого деформування та наступної термообробки



1 – сталь 20; 2 – сталь 45; 3 – сталь У8.

Рис. 7. Вплив часу витримки передрекристалізаційної термічної обробки на твердість комбіновано деформованих сталей 20, 45 та У8



1 – сталь 40X; 2 – сталь 12X13; 3 – сталь 12X18N9T

Рис. 8. Вплив часу витримки передрекристалізаційної термічної обробки на твердість комбіновано деформованих сталей 40X, 12X13 та 12X18N9T

З рис. 6-8 видно, що спосіб дозволяє отримати термічно стабільну полігонізаційну субструктуру, оскільки твердість при зростанні тривалості витримки майже не змінюється, що, ймовірно, відбувається через гальмування дислокацій за рахунок утворення дислокаційних перехрещень (потрійних вузлів).

Дослідження залежності приросту твердості від кількості хрому після термообробки, яка забезпечує максимальне значення твердості, та після термообробки протягом 60 хвилин, яка забезпечує стабілізацію субструктури. Результати дослідження наведено на рис. 9.

Наведені на рис. 9 дані свідчать про те, що приріст твердості легованих сталей хромом збільшується зі збільшенням кількості хрому, оскільки при нагріванні зразків хромистих сталей відбувається міжкристалічна внутрішня адсорбція вуглецю по границям зерен, що призводить до виділення карбідів хрому в областях з найбільшими температурами («по поверхні зразку»), тим самим зменшуючи концентрацію хрому на границях зерен, що в свою чергу збільшує щільність дислокацій, яка призводить до збільшення кількості центрів зародження нових полігонізаційних субзерен.

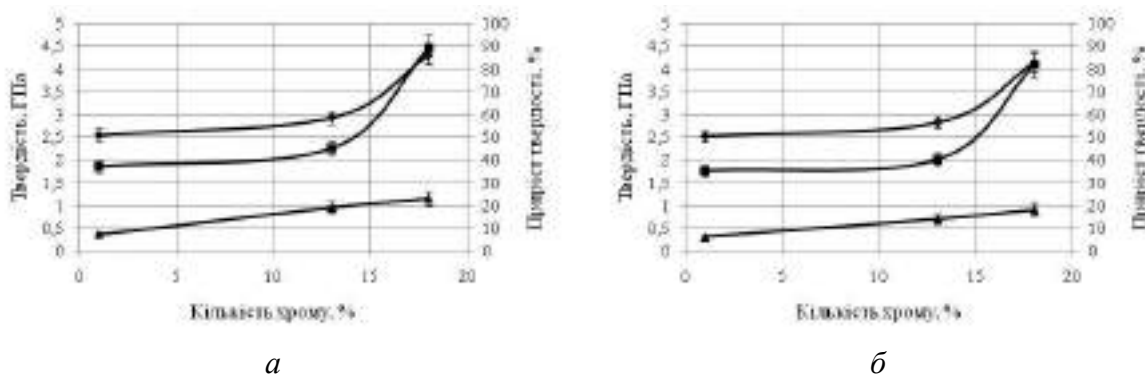


Рис. 9. Залежність приросту твердості після ПТО, яка забезпечує максимальні значення твердості, від кількості хрому: ▲ – твердість, ГПа; ■ – приріст твердості відносно відпаленого стану, %; ◆ – приріст твердості відносно деформованого стану, %; а – зразки з максимальною твердістю; б – зразки зі стабілізованою субструктурою

Висновки. Експериментально встановлено закономірності зміни субструктури та властивостей технічного чистого заліза, вуглецевої та легованої сталі, а також напилених покриттів після передрекристалізаційної термічної обробки. Сутність розробленого методу полягає у фіксуванні при нагріванні деформованого металу здрібненої полігонізаційної субструктури, здебільшого нанорозмірної. Встановлено, що передрекристалізаційна термічна обробка надає можливість формувати наноструктурні елементи і цим підвищувати фізико-механічні властивості оброблюваних матеріалів, зокрема, твердість зростає не менш ніж на 15%. Показано, що комбіноване деформування (30 % динамічного + 30 % статичного) вуглецевих та легованих сталей підвищує термічну стабільність полігонізаційної субструктури більше ніж на порядок. Встановлено, що приріст твердості технічно чистого заліза, сталі 20 та 45 зменшується зі збільшенням кількості вуглецю, а приріст твердості легованих сталей хромом збільшується зі збільшенням кількості хрому.

Список використаних джерел

1. Юркова О. І. Структурний стан і механічні властивості пластично деформованого заліза [Електронний ресурс] / О. І. Юркова, А. В. Косячук, М. Г. Гриценко // *Металознавство та обробка металів*. – 2011. – № 1. – С. 3-9. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/63657>.
2. Валиев Р. З. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : Академкнига, 2007. – 372 с.
3. Алымов М. И. Методы получения и физико-механические свойства объемных нанокристаллических материалов / М. И. Алымов, В. А. Зеленский. – М. : МИФИ, 2005. – 52 с.
4. Проблемы совмещения горячей деформации и термической обработки стали / А. А. Баранов, А. А. Минаев, А. Л. Геллер, В. П. Горбатенко. – М. : Металлургия, 1985. – 128 с.
5. Термомеханическая обработка стали / М. Л. Бернштейн, В. А. Займовский, Л. М. Капуткина. – М. : Металлургия, 1983. – 480 с.
6. Рекристаллизация металлов и сплавов / С. С. Горелик, С. В. Добаткина, Л. М. Капуткина. – [3-е изд.]. – М. : МИССИС, 2005. – 432 с.
7. Исследование закономерностей проявления эффекта динамической рекристаллизации в металлах [Електронний ресурс] / Д. Н. Боголюбова, А. Е. Гвоздев, О. В. Пантюхин // *Известия ТулГУ. Технические науки*. – 2011. – Вып. 4. – С. 276-286. – Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-zakonomernostey-proyavleniya-effekta-dinamicheskoy-rekristallizatsii-v-metallah/viewer>.
8. Опальчук А. С. Термомеханічне зміцнення сталей з низькою стійкістю аустеніту [Електронний ресурс] / А. С. Опальчук, А. В. Поліщук // *Металознавство та обробка металів*. – 2016. – № 2. – С. 36-40. – Режим доступу: https://momjournal.com.ua/sites/default/files/5_13.pdf.
9. Балицький О. І. Вплив попереднього пластичного деформування сталі 12Х18Н12Т на її механічні властивості [Електронний ресурс] / О. І. Балицький, Я. Еліаш, І. В. Ріпей // *Фізико-хімічна механіка матеріалів* – 2011. – № 4. – С. 20-27. – Режим доступу: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/138270>.

10. Вакуленко Л. І. Залежність розміру зерна аустеніту в сталі залізничного колеса від параметрів гарячої деформації [Електронний ресурс] / Л. І. Вакуленко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту. – 2015. – № 2(56). – С. 157-167. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15802/stp2015/42175>.

11. Jing W. Microstructure and thermal properties of plasma sprayed thermal barrier coatings from nanostructured YSZ [Electronic resource] / W. Jing, G. Hong, Z. Le, L. Wang, G. Sheng // Journal of Thermal Spray Technology. – 2010. – № 19 (6). – P. 1186 – 1194. – Accessed mode: <https://doi.org/10.1007/s11666-010-9535-7>.

12. Карпеченко А. А. Вплив передрекristалізаційної термічної обробки на фізико-механічні властивості функціональних електродугових композиційних покриттів [Електронний ресурс] / А. А. Карпеченко, М. М. Бобров // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2022. – № 2. – С. 94-100. – DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-161-2-94-100>.

13. Карпеченко А. А. Формування функціональних плазмових покриттів з комплексом підвищених фізико-механічних та експлуатаційних властивостей [Електронний ресурс] / А. А. Карпеченко, М. М. Бобров // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2021. – № 1. – С. 74-80. – DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2021.242179>.

References

1. Yurkova, O.I., Kosianchuk, A.V., & Hrytsenko, M.H. (2011). Strukturnyi stan i mekhanichni vlastyivosti plastychno deformovanoho zaliza [Structure and mechanical properties of iron after severe plastic deformation]. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv – Metallurgy and metal processing, 1*, 3-9. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/63657>.

2. Valiev, R.Z., & Aleksandrov, I.V. (2007). *Obemnye nanostrukturnye metallicheskie materialy: poluchenie, struktura i svoistva [Bulk nanostructured metallic materials: preparation, structure and properties]*. Academbook.

3. Alymov, M.I., & Zelenskii, V.A. (2005). *Metody polucheniiia i fiziko-mekhanicheskie svoistva obemnykh nanokristallicheskiikh materialov [Methods for obtaining and physical and mechanical properties of bulk nanocrystalline materials]*. MIFI.

4. Baranov, A.A., Minaev, A.A., Geller, A.L., & Gorbatenko, V.P. (1985). *Problemy sovmeshcheniia goriachei deformatsii i termicheskoi obrabotki stali [Problems of combining hot deformation and heat treatment of steel]*. Metallurgy.

5. Bernshtein, M.L., Zaimovskii, V.A., & Kaputkina, L.M. (1983). *Termomekhanicheskaia obrabotka stali [Thermomechanical processing of steel]*. Metallurgy.

6. Gorelik, S.S., Dobatkina, S.V., & Kaputkina, L.M. (2005). *Rekristallizatsiia metallov i splavov [Recrystallization of metals and alloys]*. MISSIS.

7. Bogoliubova, D.N., Gvozdev, A.E., & Pantiukhin O.V. (2011). Issledovanie zakonornosti proiavlennia efekta dinamicheskoi rekristallizatsii v metallakh [Investigation of regularities of manifestation of the effect of dynamic recrystallization in metals]. *Izvestiia TulHU. Tekhnicheskie nauky – News of TulGU. Technical science, 4*, 276-286. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-zakonornostey-proyavleniya-effekta-dinamicheskoy-rekristallizatsii-v-metallah/viewer>.

8. Opalchuk, A.S., & Polishchuk A.V. (2016). Termomekhanichne zmitsnennia stalei z nizkoiiu stiikistiu austenitu [Thermomechanical strengthening of steels with low austenite resistance]. *Metaloznavstvo ta obrobka metaliv – Metallurgy and metal processing, 2*, 36-40. https://momjournal.com.ua/sites/default/files/5_13.pdf.

9. Balytskyi, O.I., Eliash, Ya., & Ripei I.V. (2011). Vplyv poperednoho plastychnoho deformuvannia stali 12Kh18N12T na yii mekhanichni vlastyivosti [The influence of preliminary plastic deformation of 12X18H12T steel on its mechanical characteristics]. *Fizyko-khimichna mekhanika materialiv – Physicochemical Mechanics of Materials, 4*, 20-27. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/138270>.

10. Vakulenko, L.I. (2015). Zalezhnist rozmiru zerna austenitu v stali zaliznychnoho kola vid parametriv hariachoi deformatsii [Dependence of grain size of austenite steel of railway wheel from parameters of hot deformation]. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport – Science and progress of transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport, 2 (56)*, 157-167. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2015/42175>.

11. Jing, W., Hong, G., Le, Z., Wang, L., & Sheng, G. (2010). Microstructure and thermal properties of plasma sprayed thermal barrier coatings from nanostructured YSZ. *Journal of Thermal Spray Technology*, (19(6)), 1186-1194. <https://doi.org/10.1007/s11666-010-9535-7>.

12. Karpechenko, A.A., & Bobrov, M.M. (2022). Vplyv peredrekrystalizatsiinoi termichnoi obrobky na fizyko-mekhanichni vlastyvoli funktsionalnykh elektroduhovykh kompozytsiinykh pokryttiv [Pre-Recrystallization Heat Treatment Effect on Physical and Mechanical Properties of Functional Electric Arc Composite Coatings]. *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 2, 94-100. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-161-2-94-100>.

13. Karpechenko, A.A., & Bobrov, M.M. (2021). Formuvannya funktsionalnykh plazmovykh pokryttiv z kompleksom pidvyshchenykh fizyko-mekhanichnykh ta ekspluatatsiinykh vlastyvolei [Formation of functional plasma coatings with a complex of increased physical, mechanical and operational properties]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia – Energy: economy, technologies, ecology*, 1, 74-80. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2021.242179>.

Отримано 28.08.2022

UDC 67.017

Anton Karpechenko¹, Tatiana Makrukha², Oleksandr Dubovyj³, Maksym Bobrov⁴

¹PhD, associate professor, associate professor Department of Advanced Mathematics
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv, Ukraine)

E-mail: anton.karpechenko@nuos.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7543-4159>. Researcher ID: [57194341724](https://orcid.org/57194341724)

²PhD, associate professor Department of Applied Mechanics and Information Technologies
Robert Elvorti Economics and Technology Institute (Kropyvnytskyi, Ukraine)

E-mail: tmakruha@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8841-1688>. Researcher ID: [57222660526](https://orcid.org/57222660526)

³Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Materials Science and Technology of Metals
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv, Ukraine)

E-mail: oleksandr.dubovyj@nuos.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2843-1879>. Researcher ID: [57194338570](https://orcid.org/57194338570)

⁴PhD, Doctoral Student of Department of Materials Science and Technology of Metals
Admiral Makarov National University of Shipbuilding (Mykolaiv, Ukraine)

E-mail: laborantmtm@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9098-6912>. Researcher ID: [57194197238](https://orcid.org/57194197238)

NANOSTRUCTURING OF CRYSTALLINE MATERIALS AND SPRAYED COATINGS BY PRE-RECRYSTALLIZATION HEAT TREATMENT

Modern production requires the improvement and creation of materials with unique properties, and their use in structures is determined by the ratio between strength and plasticity, therefore metal materials are characterized by the most attractive ratio from the point of view of practical expediency. The increase in strength properties is ensured mainly due to the purposeful formation of a crushed structure.

Analysis of the latest research and publications showed that methods of thermomechanical processing of materials remain promising for the formation of ultra- and nanostructures in metallic materials.

The purpose of the work is to establish the patterns of changes in the structure and properties of crystalline materials after deformation and pre-recrystallization heat treatment.

The work presents methods for determining the strength properties of metal materials and determining the size of their structural elements.

The article highlights the feasibility of using pre-recrystallization heat treatment of previously deformed technically pure iron (GOST 3836-83), carbon steels 20, 45 (GOST 1050-88) and U8 (GOST 1435-88), alloy steels 40X (GOST 2591-2006), 12X13 and 12X18N9T (GOST 2590-2006) to increase their hardness due to the formation of a thermally stable polygonization substructure, mostly on of a nanoscale. It is shown that an increase in the content of carbon and chromium in steels during short-term exposure at a temperature that corresponds to the temperature threshold of recrystallization of the mentioned steels leads to a decrease in the increase in their hardness. Combined deformation, which consists of dynamic deformation by 30% followed by static deformation by 30%, provides an opportunity to increase the exposure time for technically pure iron, carbon and alloy steels up to 60 minutes due to the formation of a thermally stable polygonization substructure in the process of their pre-recrystallization heat treatment. It was established that the increase in hardness of technically pure iron, steel 20 and 45 decreases with an increase in the amount of carbon, and the increase in hardness of chromium-alloyed steels increases with an increase in the amount of chromium. The optimal mode of pre-recrystallization heat treatment of a heat-protective plasma coating with ZrO₂ + 7% Y₂O₃ was determined, which provides an increase in hardness by 13% and a decrease in the thermal conductivity of the ceramic layer by 15% compared to the state after sputtering due to substructural changes.

Keywords: pre-recrystallization heat treatment; substructure; nano-sized elements; heat protective coatings, hardness, thermal conductivity.

Fig.: 9. Table: 3. References: 13.

Dávid Kovaľuk¹, Ján Semjon², Martin Syč-Krivaň³, Matúš Sabol⁴

¹PhD student of the Department of Production Systems and Robotics
Technical University of Košice (Košice, Slovakia)
E-mail: david.kovaluk@student.tuke.sk

²Associate Professor, Associate Professor of the Department of production systems and robotics
Technical University of Košice, (Košice, Slovakia)
E-mail: jan.semjon@tuke.sk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9076-7808>
ResearcherID: AAH-6272-2019. Scopus Author ID: 55571411200

³Eng. student of the Department of Production Systems and Robotics
Technical University of Košice (Košice, Slovakia)
E-mail: martin.syc.krivan@student.tuke.sk

⁴PhD student of the Department of production systems and robotics
Technical University of Košice, (Košice, Slovakia)
E-mail: matus.sabol@student.tuke.sk

DESIGN OF THE EDUCATIONAL WORKPLACE FOR WORKING WITH A COLLABORATIVE ROBOT

The article deals with the issue of development, design, production and revival of a test workplace equipped with a collaborative robot and human service. The proposed solution is based on the need to train the company's employees during the completion of gear sets. Since it is not a large-scale production, it was necessary to design the educational equipment in such a way that it is portable and can be placed within different workplaces and offers sufficient variability. The variability of the device makes it possible to modify the device so that the difficulty of the training is adapted to the knowledge of a trained worker. The developed device allows improving the manual, logical and programming competences of a worker.

Keywords: Collaborative robot; collaborative effector; system of gears; cooperation.

Fig.: 5. Table: 1. References: 9.

Relevance of the research. The twentieth century can be described as the century of a robot based on its development. In this period, there were already simple often referred to as primitive drive systems, and the first control systems also appeared. Companies' requirements and goals for higher production reached a high level. The development in the field of robots recorded the greatest progress in the field of electronics and control systems [1].

In the last decade, the idea of Industry 4.0 and the Smart factory, in which collaborative robots would play a key role, dominated the sphere of the manufacturing industry. The application of collaborative robots brought about a revolutionary change in production lines, relieving workers of some activities and at the same time maintaining the continuity of the production flow. This change concerned the transition from robots working independently to activities in which the robot collaborates with a worker who is also its operator. Many concepts were put into practice that ensured a safer and simpler working environment. The main goal of these steps was to create an environment where people and collaborative robots could work together [2].

Problem statement. The mutual cooperation of a person and a robot to perform a specified task makes it possible, especially in small-scale production, to reduce the costs necessary for the reconstruction of the workplace. This leads to the need to create an educational robotic workplace, enabling to improve the competence of human operators. At the same time, it places increased demands on the operator's technical knowledge and the need for creative thinking, which will enable the assembly process to be optimized at the robotic workplace. For this reason, the need for the design and creation of such a collaborative workplace was defined, which will enable the modification of tasks. Modifying tasks for each of the trained workers should be based on their previous knowledge and practical experience.

Analysis of recent research and publications. The term Cobot names a collaborative robot in the field of robotics. Edward Colgate, Witaya Wanaasuphprasit and Michael Peshkin were the first to use this name in 1996. They defined a cobot as “a robotic device that manipulates objects in collaboration with a human operator [3].

Cobots were initially designed based on the requirement to facilitate operator movements while performing certain activities during their work. At the same time, human contact with the object was to be maintained. A simple example of how a cobot works is a unicycle. With this device, the wheel can rotate independently, but the steering and thus turning is controlled by the rider sitting on it. This means that one degree of freedom is controlled by a person, but at the same time one degree of freedom is controlled by a means or device. In summary, it can be said that collaborative robots were designed in the past to help people manipulate real objects. It follows from the definition that the mechanical bond that exists between a person and an object in a real manipulation task also exists in cobot applications. Their task is to adjust the available degrees of freedom, for example by restricting movement. In other words, the cobot modifies pre-existing human-object bonds, while new bonds are created using haptic devices. In the last decade, collaborative robotics has achieved success mainly due to implementation in small and medium-sized enterprises. The use was subject to only two conditions – security requirements for employees and the complexity of programming and operations. However, the use of collaborative robots in more complex situations such as patient care in hospitals, quick intervention during surgical operations or rescue operations requires the use of artificial intelligence elements for active cooperation with people in rational situations [3].

The definition of collaborative robots in this wording can be dated to 2016, when the first international conference for interactive collaborative robots took place (Interactive Collaborative Robotics. ICR 2016, Budapest). As the name implies, the new category of cobots involved active cooperation between a person and a robot, and therefore not only assistance in performing simple operations, but a certain form of dialogue [3].

Uninvestigated parts of a common problem. One of the trends of the modern phase of scientific and technological development is the socialization of robots into various branches of human activities. The concept of collaborative robots was derived from this, or cobots. According to the international standard ISO 8373:2021-11 “Robots and robotic devices” (2021), collaborative robotic operations include those activities in which a person cooperates with a robot in the same workplace [4]. A robot that has elements of artificial intelligence and a developed information sensory system becomes such a partner of a person that performs even more sophisticated tasks. In view of this, a new concept was created - Interactive collaborative robots. The application of logical elements led to a significant expansion in the field of use of collaborative robots, covering all new human activities and interests [5]. Developments in the field of remotely controlled manipulators led to the emergence of a new group of remotely controlled systems. These were defined as remotely controlled collaborative robotic systems. An important representative of this field is the robotic surgical system Da Vinci (Fig. 1), which facilitates and helps the surgeon's work. This system is not directly a robot, but rather a robotic smart tool operated by a surgeon. This area also includes, for example, systems with use in space or underwater, with elements of artificial intelligence, which are controlled by a person at the same time with the active support of robotic systems [3].

Research objective. The goal of the research was to design such a device that would be intended for assembly purposes. This means that the operator of the device should demonstrate its skills not only manually but also logically. Since the request was based on the needs of the company, in which different types of gears are most often used in assembly activities, it was necessary to implement them into the device. Another requirement was the portability of the device, so that it was possible to place the device on an adjustable work table, according to the current needs at the workplace. For this reason, a total of three variants of the workplace were created. Next, the most optimal variant in terms of price and ease of production was selected.

The statement of basic materials. The collaborative robot Fanuc CRX – 10iA was used at the test site, Figure 1. With its properties, it exceeds the requirements set for the task and enables it to be performed safely and reliably. Among its advantages there is the function of a

quick stop by touch, which ensures the prevention of accidents in contact with the robot or work objects. The sensor technology mounted in the robot's body enables an immediate emergency stop when it comes into contact with an obstacle or a human body [6].



Fig. 1. Fanuc CRX-10iA

The robot offers easy-to-use additional software that allows a user to easily install interfaces for peripheral devices. It is also possible to program the robot using the manual guidance function, the so-called Manual guide. This means that the operator guides the robot to the desired location and saves this location in the tablet using the drag & drop function. The robot is controlled by a compact, lightweight controller R-30iB Plus Mini [7]. The technical data of the robot are listed in Table.

Table – Fanuc robot parameters CRX-10iA [8]

Namely the load	10 kg
Number of controlled axes	6
The range of movement of the controlled axes	360 až 570°
Movement speed of controlled axes	120 až 180 °/s
Robot range	1249 mm
Repeatable positioning accuracy	+/- 0.04 mm
Weight	40 kg

The main and inseparable equipment of the robot for performing the work task is a collaborative electric gripper from the company Schunk with the designation EGP-C 40-N-N-FCRXID (Fig. 2). The gripper is size 40 with a lift of 6 mm per jaw and the greatest force per jaw $F = 70\text{ N}$ [9]. The gripper is connected to the robot using a flange and screws with a metric thread, signal transmission is ensured by a cable. The gripping fingers of the flange were modeled with respect to the shape and dimensions of the work objects and are manufactured using 3D printing.



Fig. 2. Schunk collaborative grip effector

The design of the workplace was implemented in such a way that the task of the collaborative robot is to assemble a system of gears on a prepared work surface. Using a gripping effector with fingers designed for the given operation, the robot removes and places wheels on a steel plate with pins for wheel storage. The gears are mounted serially behind each other in the axis. The last wheel of the gear has a cylindrical turned drum attached to the side for unwinding the connecting cable. The last, driven wheel can be changed to a wheel with a different number of teeth and thus the gear ratio would also change. In Figure 3 shows a view of the proposed solution.

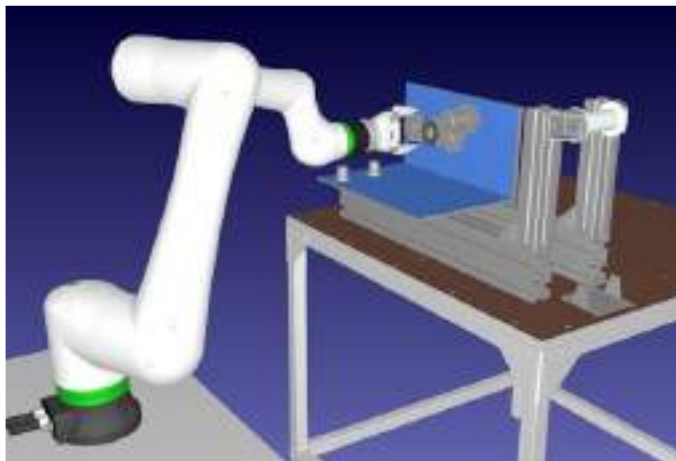


Fig. 3. 3D design of the solved robotic workplace

The gears are placed in trays on the plate in front of the robot. From this position, the robot takes them to the pins that are on the base plate in front of the robot. Multiple wheel alignment options are available. Even when changing the order of the gears, the functionality of the transmission will be preserved and thus the teeth will engage. The resulting gear ratio can be changed so that it is larger, smaller or equal to one.

The manipulation task is performed at a workplace with a pair of work tables. On one table the robot performing the task is stored and screwed, on the other table the task is performed and all the parts of the work task are stored on it. Base plates with dimensions of 160×400 are placed on aluminum profiles of length $l = 530 \text{ mm}$. The assembled gear assembly will be powered by a Faulhaber servo motor with a Faulhaber planetary gearbox. This drive will guarantee a constant torque that will be transmitted through the gear for winding the connecting cable onto the drum, which is connected to the platform. The mechanism is constructed from aluminum profiles of size $40 \times 40 \text{ mm}$, on which a system of pulleys, a drum, a connecting element - a cable and a platform for lifting are mounted.

The design solution of the variant is composed of several units. The supporting elements of the assembly are formed by two steel plates, which are connected to each other by fillet welds. The bearing plate on which the pins are attached has dimensions of $160 \times 300 \times 10 \text{ mm}$, the bottom plate on which the magazine for gears is located has dimensions of $160 \times 400 \times 10 \text{ mm}$. Holes are drilled in the plates for the pins on which the gears are mounted. The axial distances of the holes were designed according to the values of the pitch circles of the gears and allow the configuration of the used wheels to be changed. The holes in the plate are made with a tolerance of H7. The resulting dimension of the system, consisting of two plates, is $400 \times 170 \text{ mm}$ and 160 mm high. The drive is located on the support plate, where it is connected by means of a connecting element. The torque from the engine is transmitted by means of a flexible coupling that connects the output shaft of the engine and the shaft of the drive wheel. A cable is attached to the drum mounted on the driven wheel, which lifts the platform through a system of pulleys. In Figure 4 shows a view of the proposed assembly.

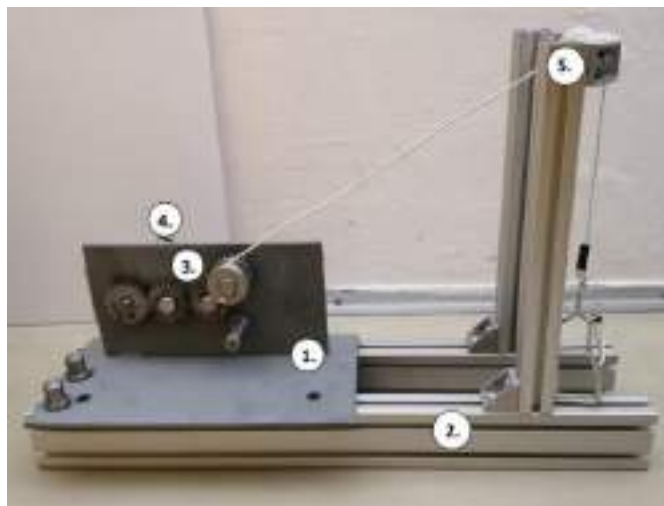


Fig. 4. The proposed assembly assembly:

1 – Base plates; 2 – Support structure; 3 – Gear wheels; 4 – Lifting mechanism

The procedure for working out a work task at the workplace is graphically illustrated using the attached diagram, Figure 5. The diagram clearly presents the relationships between individual elements and parts of the work task. The signs and shapes used in the diagram have their own special meanings and are distinguished by their purpose. Individual shapes are connected by arrows that determine the continuity of the process.

The attached diagram graphically describes the work process at the workplace with a collaborative robot whose task is to create a system of gears. According to the assignment, the robot cooperates at the workplace with an operator who assists him and at the same time checks the work being performed. The task of the robot is to take the gears from the magazine and place them on the prepared pins. After fitting the gears, the operator puts on the demarcation washer and the insurance (seger) washer. After completing the assembly, he manually turns on the voltage source for the servo drive, which causes the gear to move.

At the beginning of the work task, the collaborative robot is in its home, basic position (HomePosition), from where it starts to perform operations. The grasping effector of the robot is in the open state - Open. From the basic position, the robot moves above the magazine with gears, from where it takes the first gear. The robot moves to a safe distance above the magazine with a Jog type movement, then moves in a vertical direction up to just above the gear wheel. In the gear grip position, the fingers of the grip effector are closed with the Close command and the robot moves back to the home position with the gear gripped. From the basic position, the robot moves with a Jog type movement towards the pin for fitting the gear wheel. It is very important to maintain the predefined positions of the gears in the magazine as well as the position of the drive gear for proper engagement and engagement of the gears. These positions are marked with lines on the base plates. Near the pin, the robot with the manipulated wheel is adjusted so that the axis of the pin is identical to the axis of the gear. After the correct setting, the wheel is pushed onto the pin using a Linear movement. In the storage position, the end gripper effector is opened with an Open instruction and the robot returns to the home position to allow the operator to perform his task of placing the locating and locking washer on the stud. During the execution of commands by the robot, its movement is visually checked by the operator. If the robot registers resistance during any of its operations with one of its sensors, it repeats the movement once more. After unsuccessfully performing any of the operations again, the movement of the collaborative robot stops and it is necessary to reconfigure the work task.

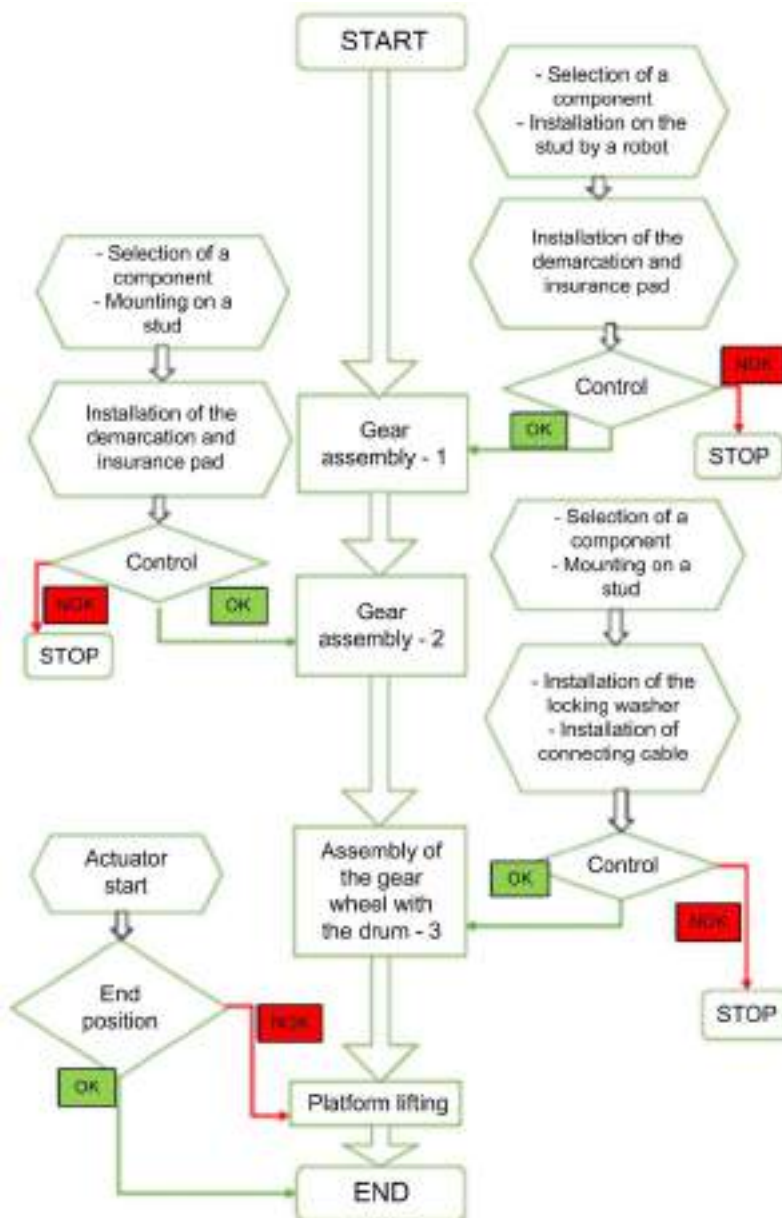


Fig. 5. Work task sequence in the workplace with a collaborative robot

After mounting the first gear, the work cycle is repeated and the robot grabs the second gear in the magazine and places it on the next pin so that it engages with the previous gear. It is important to pay attention to the precise programming of the position for gripping the gear wheel so that the entire surface of the gripping fingers is used. After correctly grasping the manipulated object with the Close instruction, the robot will gradually return to the position above the magazine with a Linear movement and then to the basic position with a Jog movement. From this position, the operation continues to fit the gear on the next pin. Attention during programming must be focused on the orientation of the gripping effector to avoid unwanted contact with other elements of the assembly. After centering the axis of the pin and the axis of the wheel, the second gear wheel is set to its end position by a Linear movement. The robot will gradually return using the Linear instruction to the position in front of the pivot and the Jog instruction to the basic position to allow the operator to perform his part of the task. After mounting the first and second gears on the base plate, there follows the operation of mounting the driven gear, which is fitted with a drum for unwinding the connecting element between the gear and the lifting platform. Assembling the drum gear is the last operation performed by the

collaborative robot. The robot is moved from its home position by a jog type movement above the magazine, where the gear wheel with the drum is located. This is followed by a Linear movement in the direction of the z axis, bringing the robot closer to touching the drum. In this position, the gripping effector is closed with the instruction Close, fig. 46 and the attached object rises back above the magazine, then returns to its original position, from where it moves to the last pin for assembly. After the correct position is set, the gear wheel is pushed into the end position, the gripper effector is opened with the "Open" command, and the robot returns to the home position. The operator puts on the safety washer and connects the connecting cable through the pulley to the lifting platform located at the end of the aluminum profile structure. After completing the system of gears and connecting the driven wheel with the drum to the platform, it is possible to start the lift of the platform. Applying the supply voltage to the terminals of the Faulhaber servo drive will cause the gears to move. When the last gear rotates, the connecting cable is wound on the drum and thus the platform is lifted. The lift of the platform is stopped manually by the operator upon reaching the top position.

If necessary, the whole assembly can be disassembled using reverse commands, after disconnecting the connecting cable from the platform and winding it on the drum, as well as removing the locking and limiting washers from the pinions of the gear wheels.

Conclusions. In this article, the design of a workplace for the mutual cooperation of a collaborative robot and a human operator is shown. At the workplace, it is possible to change the arrangement of a maximum of four pieces of gears with direct teeth. One of the wheels is also equipped with a drum for winding the cable, enabling the lifting of the platform. The lift of the platform is realized using a drive consisting of a DC motor and a planetary gearbox. Cooperation between a robot and a human can consist in two basic areas. The first and simpler area is the combination of mounting the gears on the fixture. The teacher can tell the student which wheels the robot places and which the student places. The second more difficult area is the need to secure the mounted gears on the pins using seeger rings and spacers. This can be done by hand or with the help of seeger pliers.

The uploaded educational workplace solution allows the teacher to enter different gear arrangement configurations for individual students. At the same time, the designed workplace allows to test the student's acquired knowledge in the field of design and calculation of gear transmission. This is ensured by providing the student with several pieces of gears, but only some combinations of them can set the designed mechanism in motion. This creates a complex task for the student consisting in the design of the gear, its recalculation, the programming of the robot, the implementation of collaborative assembly and the testing of the functionality of the solution using a lifting platform.

Acknowledgements. *This article was created thanks to the KEGA project support: 020TUKE-4/2022 Development and implementation of new approaches in teaching industrial and collaborative robotics.*

References

1. Mair, G. (1989). Industrial robotics 1. vyd. Hertfordshire: Prentice Hall International (UK) Ltd, 354 s. ISBN 0-13-463217-6.
2. Zentay, P., Kutrovacz, L., Otlakan, M. (2020). *Aspects of Industrial Applications of Collaborative Robots*. In Modern Problems of Robotics [online]. pp.3-17. DOI:10.1007/978-3-030-88458-1_1.
3. Luciani, A., Cadoz, C. (2007). Enaction and Enactive Interfaces: A Handbook of terms. ACROE, pp.328, Enactive Systems Books, ISBN 978-2-9530856-0-0.
4. Hajduk, M., a kol. (2015). Robotika - Robotická technika. 1. vyd. Košice: TU Košice, 188 s. ISBN 978-80-553-2500-2.
5. Lynch, K., Park, F. (2017). Modern Robotics. Cambridge University Press, 2017. 528 s. ISBN 978-1-107-15630-2.
6. Collaborative robot. <https://crx.fanuc.eu>, Retrieved from: 7.9.2022.

7. Fanuc. <https://www.fanuc.eu/sk/sk/robots/prislušenstvo/robot-controller-and-connectivity>, Retrieved from: 20.9.2022.

8. Fanuc. <https://www.fanuc.eu/sk/sk/robots/robot-filter-page/spolupracujúce-roboty/crx-10ia>, Retrieved from: 20.9.2022.

9. Schunk. <https://schunk.com/ca/en/gripping-systems/parallel-gripper/co-act-egp-c/co-act-egp-c-40-n-n-fcrxid/p/00000000001441947>, Retrieved from: 20.9.2022.

Отримано 10.09.2022

UDC 621.8

Давид Ковалюк¹, Ян Семйон², Мартин Сич-Кривань³, Матус Сабол⁴

¹аспірант кафедри виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: david.kovaluk@student.tuke.sk

²доцент кафедри виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: jan.semjon@tuke.sk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9076-7808>

ResearcherID: [AAH-6272-2019](https://orcid.org/0000-0002-9076-7808). Scopus Author ID: [55571411200](https://orcid.org/0000-0002-9076-7808)

³студент кафедри виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: martin.syc.krivan@student.tuke.sk

⁴аспірант кафедри виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: matus.sabol@student.tuke.sk

ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ДЛЯ РОБОТИ З КОЛАБОРАТИВНИМ РОБОТОМ

У статті розглянуто питання розробки, проектування, виробництва та запуску випробувального робочого місця, оснащеного колаборативним роботом і людиною-сервісом. Запропоноване рішення базується на необхідності навчання працівників підприємства під час комплектації зубчастих пар. Оскільки це не великомасштабне виробництво, необхідно було спроектувати навчальне обладнання таким чином, щоб воно було портативним, його можна було розміщувати на різних робочих місцях і мало достатню варіативність. Варіативність устаткування дозволяє його модифікувати таким чином, щоб складність навчання була адаптована до знань працівника, що навчається. Розроблене устаткування дозволяє підвищити мануальні, логічні та програмні навички працівника. Ручні навички вдосконалюються за рахунок необхідності використання ручних інструментів під час складання, якими працівник повинен вміти керувати за встановлений час. Логічну компетентність працівника можна покращити, додавши додаткові шестерні з різною кількістю зубів, що змушує працівника виконати базовий розрахунок передавального числа для складання вузла. Компетентність працівників у програмуванні покращується завдяки необхідності програмування колаборативного робота, щоб він міг безпечно пересуватися в обмеженому просторі. Розрахункові зазори в опорах та між шестернями вимагають необхідності точного програмування та оптимізації руху. Розроблене навчальне робоче місце підходить для вдосконалення знань працівників, які вже мають досвід подібної діяльності та потребують підвищення продуктивності, оптимізації процесів або скорочення часу простою. Запропонований колаборативний робот характеризується достатньою вантажопідійомністю та радіусом дії. Для програмування робота, а також керування роботом методом відтворення використовується планшет із сенсорним керуванням. Це дозволяє прискорити процес створення відповідних траєкторій і оптимізувати логічні функції робота.

Ключові слова: колаборативний робот; колаборативний ефектор; система зубчастих передач; співробітництво.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 9.

Peter Tuleja

Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of production systems and robotics
 Technical University of Kosice (Košice, Slovakia)

E-mail: peter.tuleja@tuke.sk, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6390-3109>

Scopus Author ID: [55570858300](https://orcid.org/0000-0001-6390-3109)

MANIPULATION OF SENSITIVE OBJECTS USING COMPRESSED AIR

The article deals with the issue of object manipulation, the nature of which requires specific properties of the environment in which the manipulation takes place. The handling of CD/DVD media was chosen as an example. For this purpose, as part of the preparation of educational stands at our department, a teaching workplace was designed and implemented, which will serve to train the frequenters of our faculty in the field of effective use of compressed air in manipulation tasks requiring the generation of negative pressure. The stand described in the article is available both to students as part of the educational process and to the technical public as part of demonstrating the benefits of the proposed application.

In addition to the general criteria for the manipulation task, the article also describes the solution of the stand, including the design of the pneumatic circuit and the designed control program for the used PLC.

The article has an educational and descriptive character:

Keywords: compressed air; vacuum; manipulation; object of manipulation; parameter optimization.

Fig.: 11. Table: 1. References: 10.

Relevance of the research. The manipulation task in an automated process is always associated with certain limitations, which force a designer and engineer to find the optimal solution while observing the established limitations. We can simply refer to these constraints as boundary conditions of manipulation.

In technical practice, there is often a need to handle "sensitive objects", e.g. objects requiring increased cleanliness (especially with regard to the presence of mechanical impurities - dust, etc.). These requirements are most often present in the electrical industry, but also in related areas, such as in the production of media for digital recording (CD and DVD media).

In the production of these carriers, in addition to the quality of the environment in which the handling takes place, it is necessary to observe the conditions for gripping them. The conditions change, as a rule, depending on the ongoing phase of the production process.

Problem statement. The CD/DVD carrier consists of a total of 4 layers, which are bonded to each other in a certain order during production (Fig. 1).

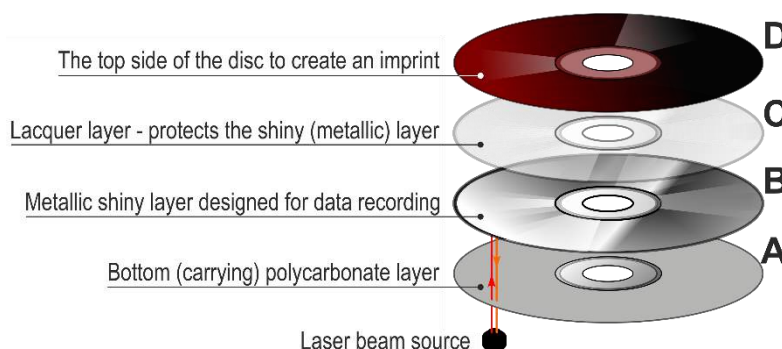


Fig. 1. The layers forming the CD carrier

Source: [1] – modified by the author.

During production, the basic component is a polycarbonate (polymethyl methacrylate) disk with an outer diameter of 120 mm, a central hole of 15 mm diameter and a thickness of 1.2 mm (Fig. 1, layer A).

During production, the most sensitive phase is when the metal layer B is installed on the polycarbonate plate A and then treated with the top lacquered layer C. Contact with the metal layer B is inadmissible, as a trace after the touch can be considered an error when reading the inscription. Likewise, layer D intended for printing (aesthetic point of view).

During manipulation operations, the central ring is considered to be the optimal surface for gripping, contact with which does not threaten the usability of the medium itself (Fig. 2). Its size is limited to a ring with an outer diameter of max. 34 mm and an inner diameter of 15 mm.

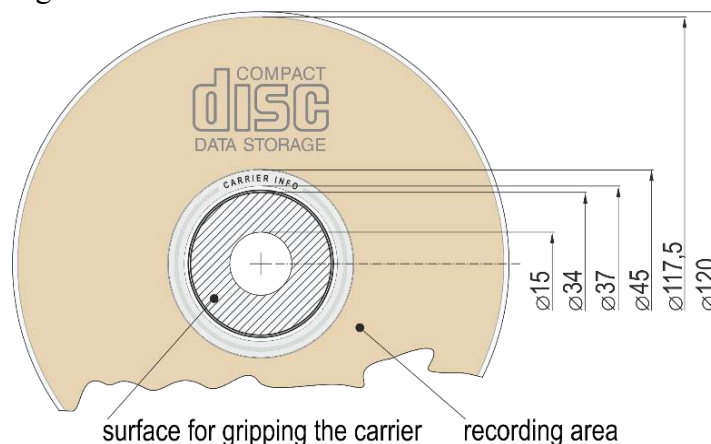


Fig. 2. Dimensions of the area usable for gripping the CD carrier

Source: created by the author.

In addition to the already mentioned area bounded by an inner diameter of 45 mm and an outer diameter of 117.5 mm (metallic layer B), the area carrying information about the disk (something like the FAT table on floppy disks) is also "forbidden". It consists of a ring with an inner diameter of 37 mm and an outer diameter of 45 mm.

Analysis of recent research and publications. Restrictions on gripping apply only during the initial stages of carrier production, when the recording layer is applied (in the case of R/RW carriers) or until the record of the work offered on the carrier is created (pressing of the metallic layer). For these stages of production (manipulation of the basic polycarbonate disc), specially adapted vacuum suction cups have proven themselves in technical practice as contact handling means (Fig. 3), possibly cyclone suction cups (Fig. 4).

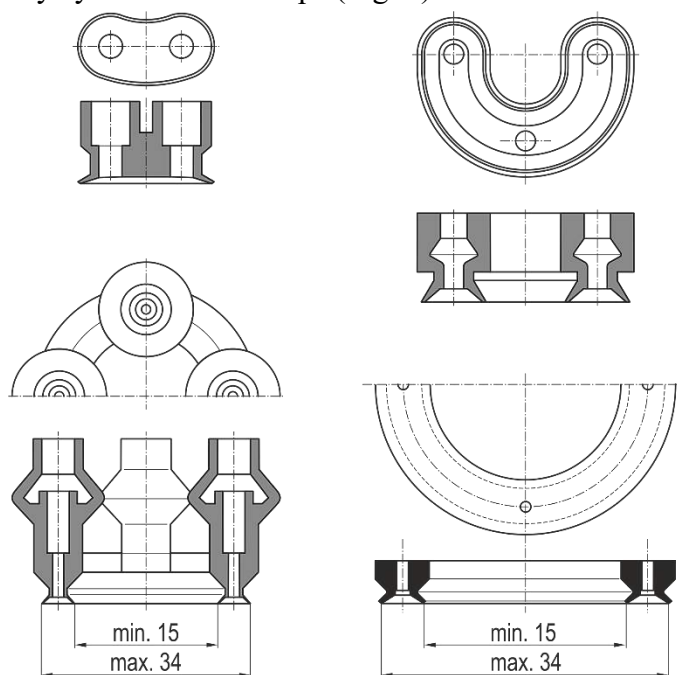


Fig. 3. Special shapes of vacuum suction cups

Source: catalog data [6].



Fig. 4. Cyclone (Bernoulli) suction cups of various manufacturers

Source: by editing the catalog data of [8; 5; 7; 1] – created by the author.

While vacuum suction cups in a special size adjustment can be used practically without limits, the use of cyclone suction cups requires solving the problem of gripping a single piece of CD carrier, since the vortex acting as the basis for the creation of a vacuum effect tends to take more than just one piece from the stacked carriers, which can happen when storing in the storage area for the next production step, a serious problem.

After the finalization of production, i.e. only when it is stored in the case, the carrier can be manipulated from any side, even safer manipulation is from the side from which the record is read.

Uninvestigated parts of a common problem. When dealing with the issue of handling CD carriers as part of the educational process, we therefore limited ourselves to handling the finished carrier, which is a pressed CD with a recording (music CD or CD with data created in a professional recording device). This limitation resulted from the need to purchase new suction cups and special carriers intended for them. We considered these increased costs to be disproportionate to such purposes of use. That's why we solved it by using 16mm diameter silicone suction cups, and we chose the side of the CD carrier on which the print is applied as the gripping surface.

Research objective. The goal of the post is:

1. approximation of the procedure for the design and implementation of the workplace, which would allow the handling of CD carriers;
2. description of the handling task and design of the pneumatic circuit;
3. proposal of the sequence of steps during manipulation;
4. design of the control program for the controller (PLC);
5. description of the methodology intended for the implementation of educational and practical training of students.

The statement of basic materials. As an educational aid for the purposes of the department and the institute, a training stand was built in an attempt to make the students aware of the dangers that the manipulation described above brings with it.

The stand was designed in accordance with the broader concept of practical teaching of pneumatic mechanisms at the institute [9] as in order 12 separate workplace (Fig. 5).

The handling device is installed on a perforated steel plate of dimensions 700x550mm placed on posts made of BOSCH aluminum profiles of dimensions 40x40mm.

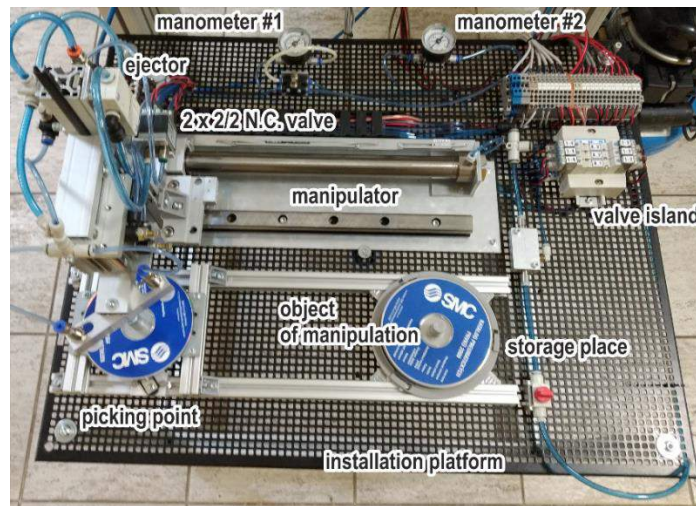


Fig. 5. Dispositional arrangement of the workplace

Source: photo created by the author.

The handling device itself consists of a pair of pneumatic drives produced by the SMC corporation (a world leader in the production of pneumatic components): a rodless linear pneumatic drive with magnetic coupling 12-A-1 (CY3B25TF-320) and a compact linear drive 12-A-2 (ECQ2B32-30D) (Fig. 6).



Fig. 6. Drives used for the construction of the handling mechanism

Source: by editing the catalog data of [3, 4] - created by the author.

The rodless drive ensures the horizontal movement of the mechanism, the compact drive ensures the vertical component of the movement.

Movement control is ensured by the form of a valve island marked 8-V-3, which is made up of a trio of 5/2 bistable electropneumatic valves marked 8.1 ... 8.3 (Fig. 7). As can be seen from the wiring diagram, Fig. 8, valves 8.1 and 8.2 are adjusted to 3/2 N.O. This is so that it is possible to create the so-called positive control of the rodless drive (to ensure the possibility of stopping in a defined position - on the sensor marked in the wiring diagram 12A1-S-3). For this, it is necessary to apply pressure to both sides of the drive piston at the same time.



Fig. 7. Valve island

Source: photo created by the author.

The third of the valves of the valve island 8-V-3 ensures the operation of the vertical unit 12-A-2.

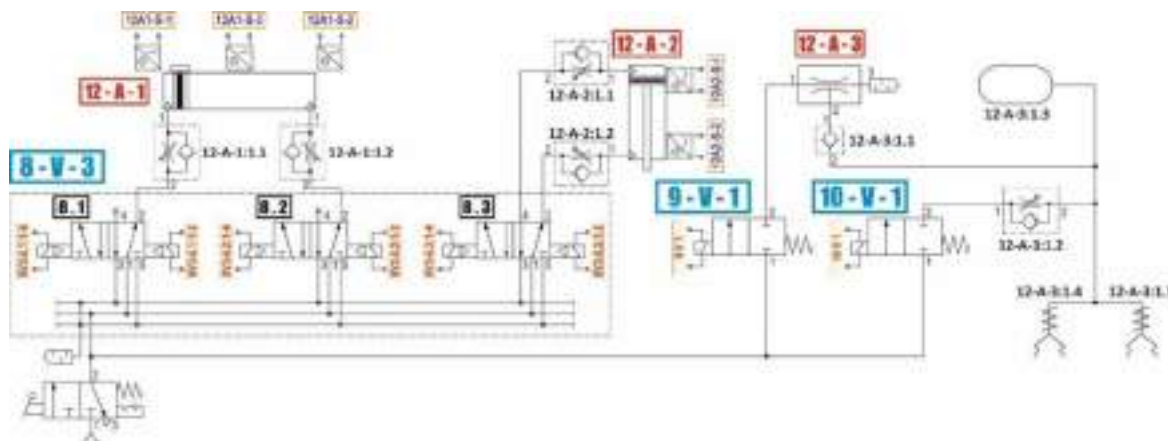


Fig. 8. Wiring diagram of the pneumatic circuit of the workplace

Source: compiled by the author.

This modification was required by the condition we set for the initialization of the mechanism and its alignment during the individual stages of the activity.

The manipulation task of the mechanism consists in transferring any number of CD carriers from the interval $\langle 1; 1 \rangle$. The maximum number of CD carriers is determined by the maximum stroke of the used suspension of the suction cup carrier (Fig. 9).



Fig. 9. Vacuum suction cup with spring-loaded carrier

Source: manufacturer's catalog [10].

The presence of a CD carrier in the tank is detected by a BALLUF diffusion sensor marked 12AX-S-X (see FBD diagram with control program, Fig. 11).

To initialize and align the mechanism, it is necessary to follow the instructions given in Table. Buttons, Fig. 10, listed in the table are available on the training table, where the controller controlling the sequence of workplace activities is also located.

Table – Meaning and use of initialization buttons

BUTTON	ACTIVITY	NOTE
TL1	Cycle START/cycle STOP	
TL2	Setting the suction head above the point of tank	with holding until the sensor 12-A-1-S1 is reached
TL3	Initialization (bringing pressure to both sides of the pistonless cylinder)	
TL4	Moving the suction head away from the point of tank	with holding until the sensor 12-A-1-S3 is reached

Source: created by the author.



Fig. 10. Control buttons

Source: photo created by the author.

The vacuum circuit ensuring the activation and deactivation of suction cups 12-A-3:1.4 and 12-A-3:1.5 is solved in the same way as we already described in the article published in issue 3(25) of this journal [9]. This ensures that the ejector is disabled during the transfer of the CD carrier from the storage location to the storage location. This significantly reduces the consumption of compressed air.

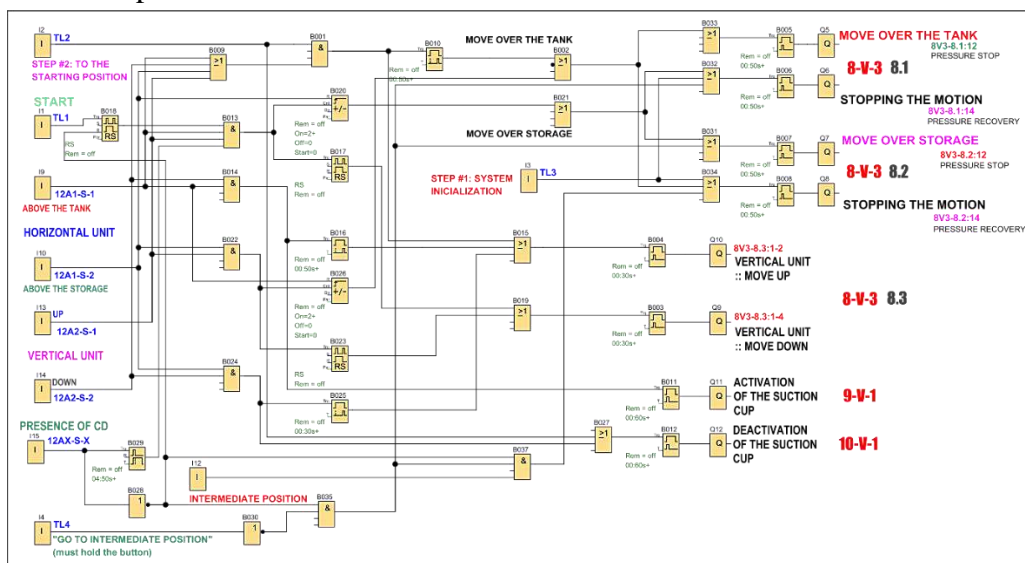


Fig. 11. FBD diagram of control program for PLC SIEMENS LOGO!

Source: created by the author.

Conclusions. The presented problem and the mechanism for its solution is a suitable addition to the concept of training workplaces for the practical preparation of our students, but they also expressed their desire to borrow it from cooperative secondary schools. It will thus contribute to the provision of better training for our students, to the provision of demonstration use for people from technical practice as well as primary and secondary school students as part of excursions at our institute.

The implementation of the described mechanism ensures the possibility, within the teaching process at the department and the institute, to provide our students with a slightly better preparation for their use in technical and practical positions after completing their university studies.

We believe that even in such partial steps, there is potential leading to the fulfillment of this effort of ours.

Acknowledgements. This article was created thanks to the project support: 020TUKE-4/2022 Development and implementation of new approaches in teaching industrial and collaborative robotics.

References

1. 49_1.pdf : https://official.en.koganei.co.jp/product/NCT_ALL.
2. Author: Pbroks13 – Own work by uploader. Disc image taken from Image:Etiquette cd-rom 01.svg, CC BY-SA 3. 0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=4862958>.

3. CQ2B_EU.pdf : <https://www.smc.eu/sk-sk/produkty-a-podpora/c-d-q2-kompaktny-valec-dvojcinnny-jednostranna-piestnica~158338~cfg?partNumber=CQ2B32-30D>.
4. CY3-C_EU.pdf: <https://www.smc.eu/sk-sk/produkty-a-podpora/cy3b-bezpiestnicovy-valec-magneticky-prenos-sily-bez-vedenia-zakladne-prevedenie~41624~cfg?partNumber=CY3B25-320>.
5. ES100-145-ZNC.pdf : <https://www.smc.eu/sk-sk/produkty-a-podpora/znc-series-bernoulli-type-non-contact-gripper~168804~cfg>.
6. FIPA-Gesamtkatalog-Vakuumsauger-S07_en_US.pdf: <https://www.fipa.com/en-DE/product>.
7. FIPA-S-CD-DVD_en_US.pdf: <https://www.fipa.com/en-DE/product/bernoulli-vacuum-cups-sx-b-pk>.
8. <https://www.emerson.com/de-de/catalog/vacuum-technologies/aventics-sku-r412014869-de-de>.
9. Tuleja, P., & Ščurka, M. (2021). RETROFIT OF PNEUMATIC MECHANISM MODEL USING VACUUM. *Technical Sciences and Technology*, (3(25)), 110–116. ISSN 2519-4569; [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3\(25\)-110-116](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3(25)-110-116).
10. ZP_EU.pdf: <https://www.smc.eu/sk-sk/produkty-a-podpora/zpt-b-j-k-prisavka-s-odpruzenym-nadstavcom-privod-vakua-v-osi~138576~cfg>.

Отримано 10.09.2022

UDC (07)621.7:621.8

Петро Туля

доцент, доцент кафедри Виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: peter.tuleja@tuke.sk, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6390-3109>

Scopus Author ID: [55570858300](https://orcid.org/0000-0001-6390-3109)

МАНІПУЛЮВАННЯ ЧУТЛИВИМИ ОБ'ЄКТАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ СТИСНЕНОГО ПОВІТРЯ

У статті розглянуто проблему маніпулювання об'єктами, природа яких вимагає специфічних властивостей середовища, у якому відбувається маніпулювання. Маніпулювання, описане у статті, вимагає підвищеної уваги при захопленні конкретного об'єкта. Як приклад було обрано дії з носіями CD/DVD.

Для цього в межах багаторічної підготовки навчальних стендів на нашій кафедрі розроблено та впроваджено чергове навчальне місце, яке буде служити для навчання студентів кафедри та інституту у сфері ефективного використання стисненого повітря при виконанні завдань, що вимагають використання негативного тиску.

Модель робочого місця, описана в статті, доступна для студентів як частина навчального процесу, а також для технічної громадськості, як частина демонстрації переваг запропонованого застосування. Модель дозволяє вирішувати не тільки загальну задачу маніпулювання, але й часткові завдання, пов'язані із сортуванням, ініціалізацією та програмуванням логічного контролера.

Крім загальних критеріїв такого маніпуляційного завдання, у статті також описано техніко-конструктивне рішення моделі. Його технічне рішення полягає в розробленому та фізично реалізованому механізмі, який дозволяє маніпулювати об'єктом маніпулювання. Проектована частина пневматичного контуру, у якій створюється негативний тиск, розроблена з урахуванням економії стисненого повітря під час маніпуляційного завдання.

Це було досягнуто за допомогою схеми з використанням одноступінчатого ежектора в поєднанні зі зворотним клапаном і вакуумним резервуаром, що створило умови для створення «вакуумного замку», подібного до того, який часто використовується в гідравліці.

Весь цей проект створених навчальних робочих місць також підтримується методичною підтримкою у вигляді навчального тексту (наразі готується), включаючи проектування пневматичної схеми, опис і параметричне визначення використовуваних компонентів і складену програму керування для використовуваних контролерів. Також готується проектування та впровадження модуля підтримки бази даних для відповідного відбору необхідної інформації.

Стаття має навчально-описовий характер.

Ключові слова: стиснене повітря; вакуум; маніпулювання; об'єкт маніпуляції; оптимізація параметрів.

Рис.: 11. Табл.: 1. Бібл.: 10.

Peter Marcinko¹, Dávid Koval'uk²

¹Assistant Professor, Assistant Professor of the Department of production systems and robotics
Technical University of Košice (Košice, Slovakia)

E-mail: peter.marcinko@tuke.sk, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2853-5755>

ResearcherID: [DFK-9265-2022](https://orcid.org/DFK-9265-2022), Scopus Author ID: [56736964700](https://orcid.org/56736964700)

²PhD student, Phd student of the Department of production systems and robotics
Technical University of Košice (Košice, Slovakia)

E-mail: david.kovaluk@student.tuke.sk

THE USE OF SMARTCOMPONENTS IN THE DESIGN OF COMPLEX ROBOTIC WORKPLACES

This article deals with conceptual designs for welding operations in the ABB simulation environment RobotStudio program. This software is used for offline programming of robots from this robot manufacturer. It contains many useful functions for the creation of robotic workplaces, and one of these functions is the so-called SmartComponents.

The article contains a description and creation of individual objects, mechanisms and devices used in the concept of the workplace, as well as a detailed description of the construction of the workplace. Furthermore, this part contains the generation of signals and the creation of various operations for designing and subsequently simulating the movement of robots performing a technological operation, using the arc welding method.

Keywords: SmartComponents; welding simulation; RobotStudio; Design; Arc welding.

Fig. :6. Table: 1. References: 11.

Relevance of the research. Industrial robotics, specifically industrial robots, have a large presence in various technological sectors in today's world. Although the average person encounter a robot every day, these devices affect several aspects of our lives. They are widely represented, for example, in the automotive industry, where they are most often used for technological operations such as welding, painting or assembly of individual parts. Their use in industry significantly shortens production time and eliminates the strenuous and dangerous work that people would have to do. At the time of the COVID-19 pandemic, some companies began to realize the benefits of robotics and began to gradually implement industrial robots in their production operations [1].

Nowadays, there are several methods of programming industrial robots. One of them is the offline programming method. This method consists in creating the desired robot program in a virtual software environment. For this, simulation software is used, such as RobotStudio along with SmartComponents plugins.

Problem statement. The subject of robotics covers many different areas. Robots alone are rarely useful. They are used together with other devices, peripherals, and production machines. They are generally integrated into a system designed to perform a task or an operation. Robots are very powerful elements of today's industry. They can accurately perform many different tasks and operations and do not require the usual safety and comfort features that a human worker would need. They also enable a certain activity to be carried out continuously and without the break that a human worker would need. Robots are computer-controlled machines that are programmed to move, manipulate objects, and perform work while interacting with their surroundings. To approach this problem, a robotic station was created on which various SmartComponents were tested for different types of mechanisms, e.g., positioner or linear motion of the robot [2].

Analysis of recent research and publications. Offline programming means that the operator builds a virtual scene of the robot's working environment in the programming software and completes the program design of the robot according to production requirements. Offline programming usually allows simulation, but also program testing, e.g., collision detection. Although the offline programming method is usually adopted by traditional industrial robots, this method can be used to program collaborative robots if the online programming method cannot meet the requirements of the task. The advantage of this programming method is that the programming can be done while the robot is still in production on a previous job, so the robot's production time is not lost due to delays in programming the robot to a new task.

Other advantages are efficient programming of program logic and calculation with the state of debugging facilities, locations are built according to models and this may mean that the programmer will have to fine-tune the programs online or use additional sensors, program verification using simulation and visualization, costs independent of production, production can continue during programming, tools to support the process, for example selection of welding parameters [3;1].

ABB RobotStudio is an engineering tool for configuring and programming ABB robots, both real robots in operation and virtual robots on a PC. To achieve real offline programming, RobotStudio uses the ABB VirtualRobot technology, or the so-called virtual controller together with add-ons for importing parts from CAD programs and the library itself, which contains ABB mechanisms and robots.

Due to the large availability of information online and the large amount of work devoted to the basic description of the environment and familiarization with the ABB RobotStudio software, we will not describe the basic environment and functions of this software, but in the following chapters we will describe the SmartComponents with which we can simulate the various required functions and properties.

Uninvestigated parts of a common problem. Despite a large part of work on the creation of robotic workplaces in offline environments as a whole and individual elements, as well as the interpolation control mode, it is not possible to create complex simulations with technology, for example welding. Then there is a situation where it is necessary to use SmartComponents.

SmartComponents is an object in ABB RobotStudio (with or without a 3D graphical representation) that has behaviour that can be implemented using code or aggregations of other SmartComponents. In the following subsections, we will describe several basic SmartComponents, as we will use and assemble several SmartComponents to simulate some properties in the environment during the design of concepts and the creation of simulations [4].

Research objective. The purpose of the article is to build a robotic workplace in an offline program with industrial robots, a positioner and ABB welding technology that used SmartComponents. To achieve the above, it is necessary to solve the following tasks:

- suitable location of the devices for the entire workplace,
- design logical control for robots and positioner,
- design management,
- testing.

The statement of basic materials. With the help of these SmartComponents, we can detect what kind of object it is and, in combination with other components, perform various functions such as moving the detected object in space or attaching it to another object. The Collision Sensor detects collisions and events in which a collision occurs, or the permitted boundary is exceeded between the first and second object. If one of the objects is not defined, the other will be checked against the entire station. When the signal is active and a collision or near-collision event occurs and the component is active, the Sensor Out signal changes its value to one. Objects that participate in a collision event or near collision event are reported. Line Sensor defines a line using Start, End and Radius. If the active signal is high, the sensor detects objects that cross the line. Intersecting objects are displayed in the Closest Part property, and the point on the intersecting object that is closest to the start point of the line sensors is displayed in the Closest Point property. When an object is detected, the output signal Sensor Out is set. Plane Sensor defines a plane using Origin, Axis1 and Axis2. When an active input signal is set, the sensor detects objects that cross this plane. Intersecting objects are displayed in the Sensed Part property, and the SensorOut output signal is set if an intersection occurs. Closest Object defines a reference object or reference point. If the Execute signal is set, the component finds the Closest Object, Closest Part, and Distance to the reference object, or to the reference point if the reference object is not defined. If a reference object is defined, the search is limited to this object and its parts. When the relevant properties are completed and updated, the Executed signal is set. Fig. 1 shows the setup of the necessary sensors [5].



Fig. 1. Sensors

With these components, we can create various actions, e.g., such as attach, detach, or generating a copy of the original object. In some cases, it is advantageous to use these components with sensor components. If the Execute signal is set, the Attacher attaches the defined object in Child to the Parent object. If it is a parent mechanism, the primary Flange object to connect to must also be specified. When the Execute input is set, the child object is connected to the parent object. If the Mount option is enabled, the Child will also be attached to the parent with the specified Offset and Orientation. After completion, the Executed output will be set. Detacher detaches the Child from the object it is attached to if the Execute signal is set. If the Keep position option is enabled, the position will be preserved. Otherwise, the Child is positioned relative to the Parent object. After completion, the Executed signal will be set. The Source property of the Source component indicates the object that should be cloned when the Execute input signal is received. The parent of cloned objects is specified by the Parent property, and the reference to the cloned object is specified by the Copy property. The Executed output signal means that the clone is complete [6].

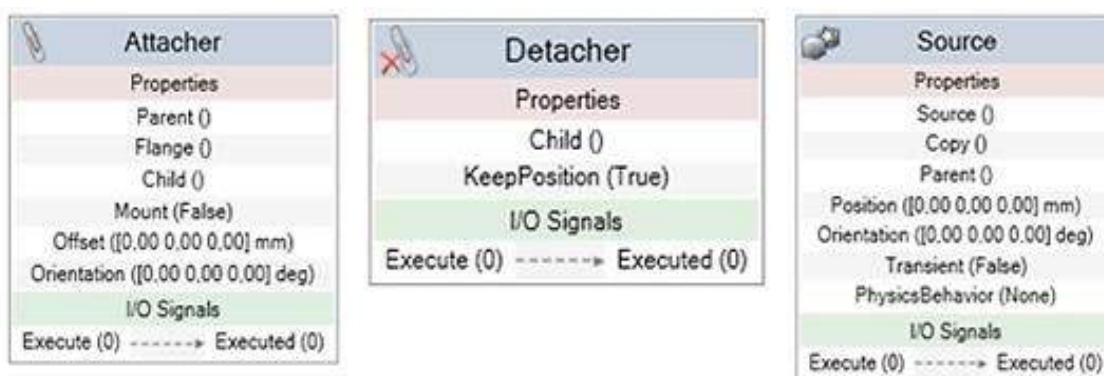


Fig. 2. Actions

Description of some 3D models. It will mainly be about 3D models, which are necessary for the design and implementation of the simulation for the workplace concept. Each model was created in SolidWorks 2018. Other used models, mechanisms and various elements were used from the RobotStudio library. In the concept, we will work with the same construction. The structure is made of two pieces of profile steel TR OBD 70×40×5 – 2100, four pieces of profile TR OBD 70×40×5 – 860 and one piece of profile TR OBD 70×40×5 – 460. The individual profiles of the structure will be connected to each other by means of an integral joint – weld. It is a corner weld along the entire length, the height of the weld is 4 mm. In the concept, we will simulate arc welding using industrial robots and one positioner. Due to the need to fix the welded object, it was necessary to design a positioning fixture [7].

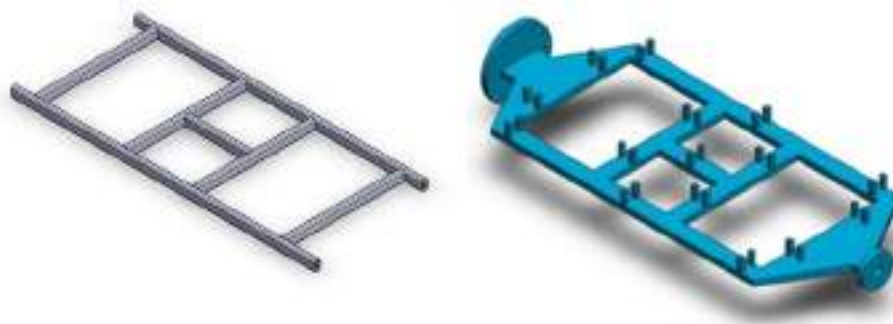


Fig. 3. Holder for steel construct

Due to the large size of the workplace, thanks to the use of components, we will present the layout of the workplace using a Table where the coordinates of the individual mechanisms will be. Each component used in the program has its own local point of origin, which can be used to determine the position in space from the reference point of the entire station [0, 0, 0]. This point is located near the positioner. In Tab. 1, individual rotations of mechanisms and devices around the axis are also included. The Y axes of both robots are not fixed, as both robots move using linear units. The entry point "A" is the point of the "Source" component that creates the palette. The output point "F" is the point on the path of the IRB 6660-100/3.3 robot, where the structure will be released from the gripper [8].

Table – Location of the devices

	X	Y	Z	R_x	R_y	R_z
Entry point "A"	4740	13477	415	0°	0°	0°
Exit point "F"	6220	-5410	209	0°	0°	0°
IRBT 6004	3125	2090,5	13	0°	0°	-90°
IRB 6660	3600	-	397,5	0°	0°	-90°
IRBT 2005	-1842	2074,5	0	0°	0°	-90°
IRB 2600	-1550	-	460	0°	0°	-90°
IRBP K-600/1200	1070	-3000	0	0°	0°	180°

Each performed task at the workplace is triggered after the previous task is completed. The whole process is automated, and we do not need to interfere with the program during the simulation. The first task is performed between points A, B. At point A, a pallet with a holder and profiles is created, which is then moved to point B. Between points B and D, the second task is performed, which starts after detecting the presence of the pallet at point B. At point B the robot gradually removes individual profiles and at point D places them on the fixture. The departure of the empty pallet from the workplace is carried out between points B and C after the completion of the second task. After saving the profiles on the fixture at point D and if the fifth task of the workplace (simulation of the journey - welding) is completed or if there are no other fixtures on the second fixture profiles, the fourth task is performed, changing the positions of the positioner. If there are profiles at point E on the fixture and the fifth task has not yet been performed after the position change of the positioner has been performed, then the fifth task (path simulation - welding) will begin. After finishing the fifth task and at the same time, if there are profiles on both fixtures, the sixth task begins, which is performed between points D and F [9].

After creating the required actions and processes that take place at the workplace, it was necessary to create the correct signal connections, the so-called design. This is what the station logic is for, which can be found in the Simulations tab, the Configure section. In the logic of the station, we connected all the necessary taps and input signals with which we simulate the entire process.

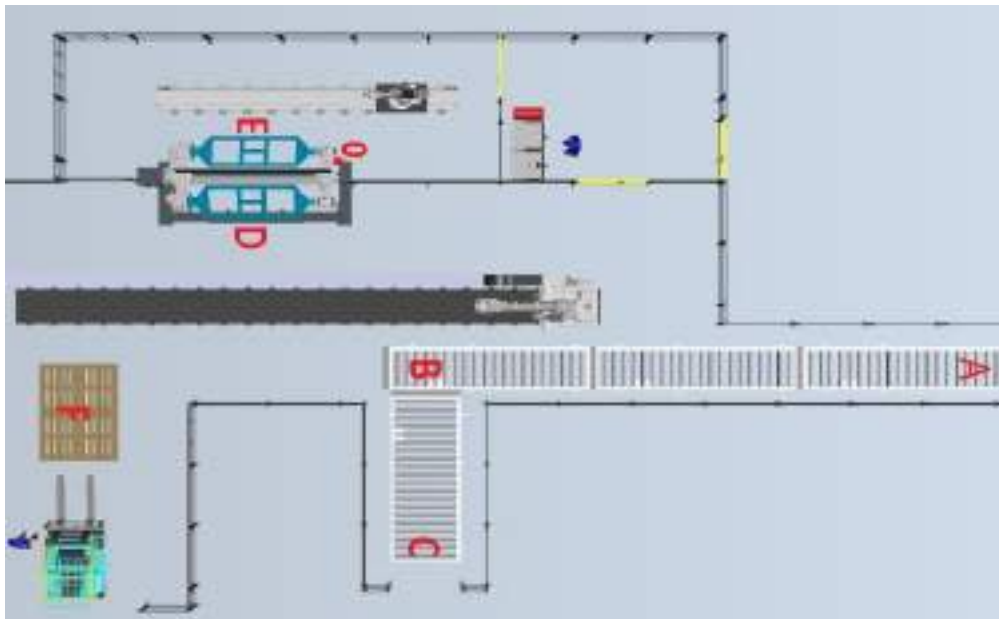


Fig. 4. Workstation

We connected all the signals from both virtual controllers as well as the SmartComponents we created. For some commands, we also used logical gates such as AND, NOT or OR, which ensure the correct functioning of the entire station. All signal connections in the station logic are shown in Fig. 5 [10].

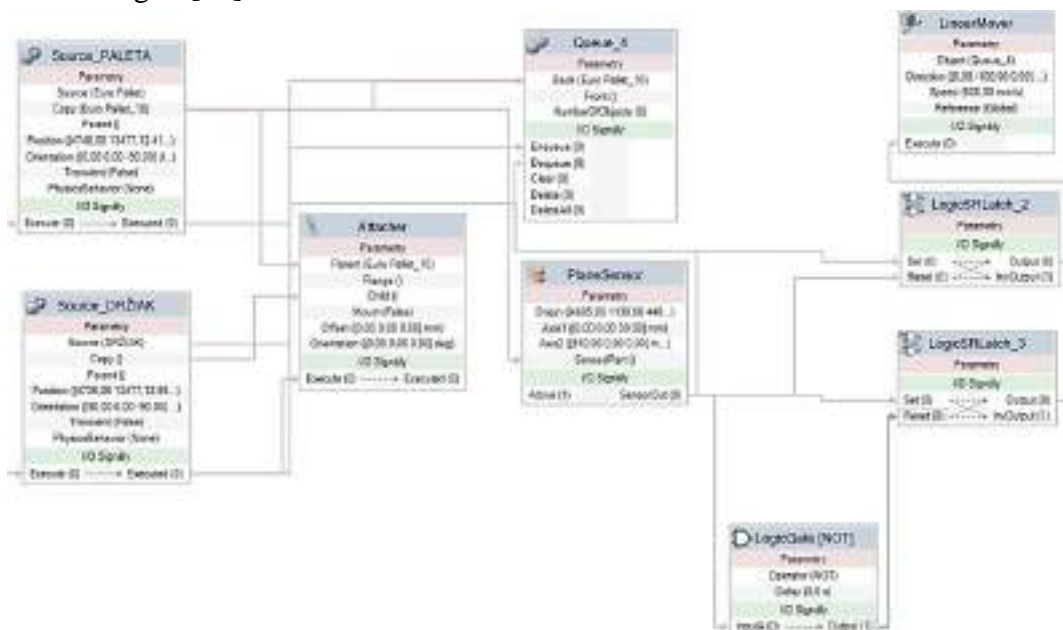


Fig. 5. Design for logical control and management for workstation

The last task performed at the workplace is the removal of the structure from the preparation and its subsequent placement on the prepared pallet. We perform this task using the IRB 6660 robot, with which we also performed the first task at the workplace. The proposed control for the entire testing operation was successful [11].

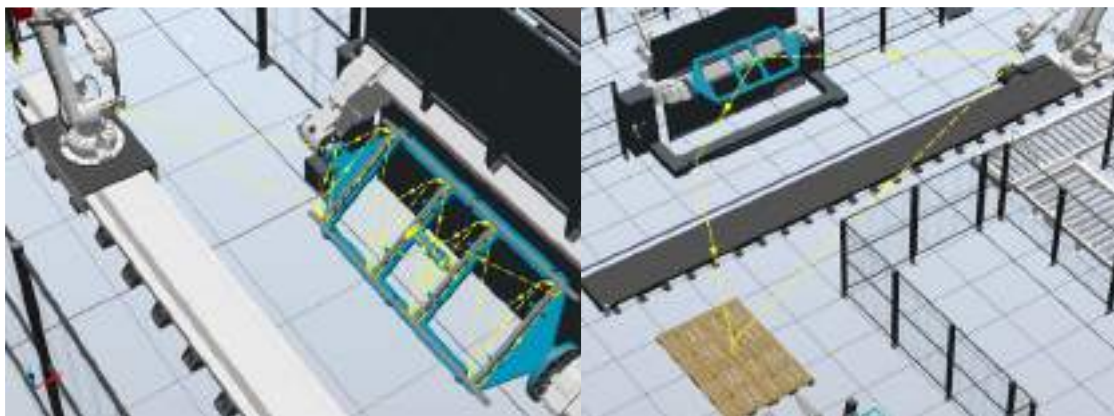


Fig. 6. Testing proposed control with SmartComponents

Conclusions. The goal of this paper was to design an offline program using SmartComponents to control a robotic workstation. This station contained the IRB 6004 robot, which removed steel profiles from the belt conveyor and inserted them into the fixture in the positioner. This positioner then ended by 180 degrees where another operation took place and that was arc welding. At the same time, another frame for welding was unfolded on the other side of the positioner with the help of the first robot. After welding the frame, the positioner rotated, and the robot removed the welded frame to the pallet. This complex operation of storing the frame, welding and subsequent transfer to the pallet would not be possible without the use of SmartComponents.

Acknowledgements. *This article was created thanks to the KEGA project support: 004TUKE-4/2021 Development of innovative teaching materials for learning multi-agent robotics.*

References

1. Hudák, J.: Konceptný návrh robotizovaného pracoviska pre zváranie konštrukcií v simulačnom protredí RobotStudio. Diplomová práca. Košice, 2022.
2. Marcinko, P., Semančík, K.: Robotized workplace for pick and place operation in simulation program RobotStudio. 2021. In: Technical Sciences and Technologies. Chernihiv (Ukraine): Chernihiv National University of Technology, Roč. 24, č. 2 (2021), s. 92-98, ISSN 2411-5363.
3. Semančík, K., Návrh robotizovaného pracoviska v simulačnom prostredí RobotStudio. Diplomová práca. Košice. 2021.
4. Holubek, R., Delgado, S. D., Košťál, P., Ružarovský, R.: Offline Programming of an ABB Robot Using Imported CAD Models in the RobotStudio Software Environment, 2014-12. Applied Mechanics and Materials, vol. 693, p. 62-67.
5. Semjon, J., Daneshjo, N., Fabian, M.: Off-line programování robotu pomocí simulačního programu RobotStudio. In: IT CAD. Vol. 21, no. 6 (2011), p. 36-38, ISSN 1802-0011.
6. Zaidan, S.: A Work-Piece Based Approach for Programming Cooperating Industrial Robots. Munich: Herbert Utz Verlag HmBH, 2013. ISBN 978-3-8316-4175-8.
7. Silva, F., M.. Targets Creation in ABB RobotStudio 5.15.02. ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Project: ROBIN – Simulation and Offline Programming of Industrial Robots. 2016.
8. Marcinko, P., Semjon, J., Jánoš, R.: Vytváranie robotických buniek pomocou offline prostredia ABB RobotStudio I. – 1. Vyd. – Košice: Technická univerzita v Košiciach – 2021. 162 s. [CD-ROM]. ISBN 978-80-553-3831-6.
9. Šablatura, J., Lipina, J.: ABB RobotStudio – návody, Laboratorní cvičení v oboru II. Ostrava 2012. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, ISBN 978-80-248-2753-7.
10. Hashem, E.: Assembly Parts Project using RobotStudio. University of Maribor, 2018.
11. Cohal, V.: A welding technology using RobotStudio. MATEC Web Conf., Vol. 112, 2017. 21st Innovative Manufacturing Engineering & Energy International Conference – ImanE&E 2017.

Отримано 14.10.2022

Петер Марцинко¹, Давид Ковалюк²

¹доцент, доцент кафедри виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: peter.marcinko@tuke.sk, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2853-5755>

ResearcherID: [DFK-9265-2022](https://orcid.org/0000-0003-2853-5755), Scopus Author ID: [56736964700](https://orcid.org/0000-0003-2853-5755)

²аспірант кафедри виробничих систем і робототехніки
Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: david.kovaluk@student.tuke.sk

ВИКОРИСТАННЯ РОЗУМНИХ КОМПОНЕНТІВ У ПРОЄКТУВАННІ СКЛАДНИХ РОБОТИЗОВАНИХ МІСЦЬ

Метою цієї статті було роз'яснити роботу зі SmartComponents. Ми познайомилися з методами програмування промислових роботів. Ми представили програмне забезпечення моделювання RobotStudio від ABB, яке використовується для автономного програмування роботів. Представлено деякі SmartComponents, які використовуються в цьому програмному забезпеченні моделювання для виконання різноманітних необхідних дій на робочому місці.

На початку роботи увага присвячена презентації створених нами моделей для проєктування, а окрему главу ми присвятили створенню власного функціонального механізму за допомогою програмного забезпечення RobotStudio, яке згодом використовували при проєктуванні робочих місць. Далі представлено окремі пристрої, які використовуються на робочому місці. Їх компонування і подальше створення завдань виконуються на робочому місці за допомогою інтелектуальних компонентів і різноманітних сигналів, що створюються в контролерах роботів. Це необхідно для моделювання моделей у програмі RobotStudio, а також у програмах САПР, особливо SolidWorks і Creo. Для другої концепції ми розглянули функцію Multi Move.

Після складання обох робочих станцій ми повинні декілька разів змодельовати працездатність робочих станцій і перевірити їх функціональні можливості. У подальшому це дозволяє порівняти обидві концепції з точки зору ефективного використання пристроїв, які містяться в розроблених концепціях. Після створення обох конструкцій у програмі RobotStudio можна буде заощадити витрати на придбання обладнання або простої між операціями.

Заміна одного конвеєра, по якому на піддоні рухаються три різні сталеві профілі, та використання трьох різних конвеєрів дозволять скоротити час зварювання, і тим самим досягти більшої кількості виготовлених конструкцій. За попередніми оцінками в першій концепції ефективність робота IRB 6660 буде на 7,2 % нижче, ніж у випадку другої концепції. Це пов'язано з тим, що за першою концепцією було виготовлено за одну годину загалом 13 штук, а за другою їх було 16. Це забезпечило більш ефективне використання робота IRB 6660 у другій концепції.

Ключові слова: SmartComponents; моделювання зварювання; RobotStudio; конструкція; дугове зварювання.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 11.

Павло Кульба¹, Олег Чередніков², Володимир Бояров³, Андрій Єрошенко⁴¹старший науковий співробітник

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Чернігів, Україна)

E-mail: Pavlo.kulba@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9256-3884>²кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Чернігів, Україна)

E-mail: cheronoleg52@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1258-590X>³старший науковий співробітник Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки (Чернігів, Україна)ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5824-0678>⁴кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: veroshenkoam@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>ResearcherID: [G-6757-2014](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516). Scopus Author ID: [57193700687](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516)**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО СТАНУ АВІАЦІЙНИХ ШИН ІНОЗЕМНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Проведені дослідження впливу експлуатаційних факторів на зношення авіаційних шин у процесі проведення дослідної експлуатації з метою визначення температурного стану та обґрунтування рішення про допуск авіаційних шин до штатної експлуатації.

Розглянуто спектр навантажень і швидкостей шин, типові види зношувань протектора, залежності зміни навантаження і швидкості за часом і відстанню під час виконання етапів виконання польотного завдання. Визначено вплив недостатності тиску та перевантаження на зсувні зусилля та температурні параметри.

Проведено аналіз особливостей експлуатації шин залежно від кількості польотів до зняття шин від шляхової швидкості при відриві під час зльоту літака та від посадкової маси літака.

Ключові слова: авіаційна шина; зношування; інтенсивність зношування; функціональне призначення; злітна маса літака шляхова швидкість.

Рис.: 5. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Для підтримки льотної придатності літаків, що стоять на озброєнні нашої держави (Лі-39, МиГ-29, Су-24, Су-25, Су-27, Ан-24, Ан-26, Ан-30, Іл-76 тощо), нагальною потребою є забезпечення комплектуючими, які є витратними. Так, з 2015 року проводиться дослідна експлуатація авіаційних шин виробництва компаній REDSOUN (Республіка Індія), QINGAO AOTAI RUBBER CO.LIMITED (Китайська Народна Республіка) і STOMIL-POZNAN S.A. (Республіка Польща) на літаках Повітряних Сил Збройних Сил України та вертольотах армійської авіації Сухопутних Військ Збройних Сил України з метою визначення можливості та обґрунтування рішення про допуск даних АШ до штатної експлуатації.

Авіаційні шини (АШ) є найважливішими елементами, які дозволяють злітати та сідати літаку, і при цьому забезпечувати безпеку польотів. Найголовнішими функціями службового призначення АШ є амортизація під час посадки та безпечний пробіг по злітно-посадковій смузі.

Попри великий досвід виробництва АШ проблеми теоретичного й експериментального дослідження їхніх експлуатаційних показників на сьогодні залишаються достатньо актуальними для сучасної авіації та підлягають розгляду.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Наскільки важливим елементом повітряного судна з фіксованим крилом є сучасна АШ, відзначають закордонні та вітчизняні дослідники. При цьому вказують на одне важливе завдання сучасної трибології, що полягає в посиленні стійкості АШ до механічних впливів і несприятливих абіотичних факторів: температури, вологості, вітру, рН середовища та інших фізичних і хімічних чинників, що діють протягом усього життєвого циклу. АШ як складна високотехнологічна структура є складним елементом, сформованим із трьох основних компонентів: у ваговому співвідношенні 50 % гуми, 45 % корду, 5 % металу [1].

На сучасних швидкісних літаках безкамерні АШ накачуються негорючим технічним азотом. Протектори АШ не мають малюнка, крім кількох поздовжніх кільцевих водовідвідних канавок для зменшення ефекту аквапланування, а також контрольних заглиблень для простоти визначення ступеня зношування [2-3].

Загалом сучасна АШ – складна високотехнологічна структура (рис. 1), при мінімально можливій вазі та розмірах працює з величезними швидкостями та навантаженнями. Форма АШ у поперечному перерізі близька до круглої для забезпечення максимальної контактної плями колеса при посадці з креном та маневрування під час руху аеродромом [4; 6-7].

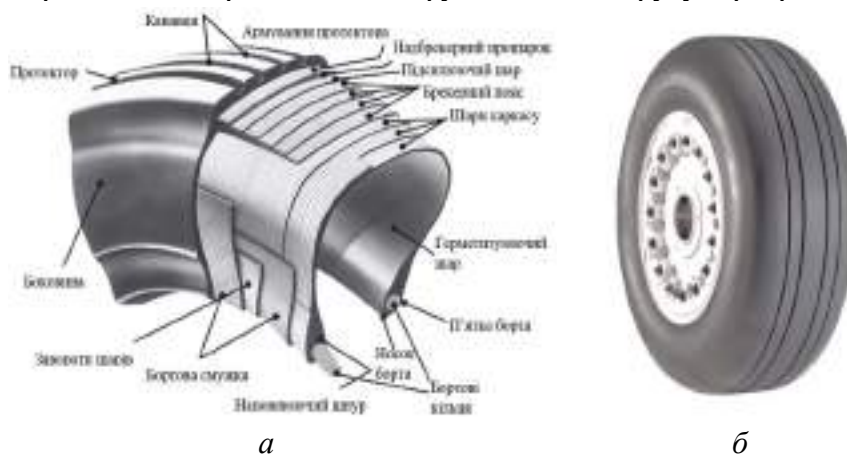


Рис. 1. Структура авіаційної шини (а) та її загальний вигляд (б) [10; 12]

У світовій практиці від механічних пошкоджень шини та температурних факторів захищають шляхом введення в конструкцію спеціальних захисних шарів із різних матеріалів (металокорду, гум підвищеної жорсткості, нейлону тощо). Множинні шари каркаса, з'єднані разом, утворюють загальний каркас і роблять шину здатною утримувати внутрішній тиск, протистояти зносу та розриву.

Інформація з поставлених питань у відкритих публікаціях та зарубіжних проспектах має тільки рекламний характер та практично не містить матеріали робіт з ефективності використання АШ та оцінки рівня їхньої зносостійкості, що зумовило необхідність проведення досліджень щодо надійності АШ іноземного виробництва та можливості підвищення їхніх експлуатаційних показників на основі оцінки температурного режиму.

Метою статті є аналіз особливостей експлуатації АШ залежно від кількості польотів до зняття шин, від шляхової швидкості при відриві під час зльоту літака та від посадочної маси літака Л-39. Аналіз впливу експлуатаційних факторів на кількість польотів та розробка рекомендацій щодо максимального використання ресурсних показників АШ дозволить у подальшому визначити математичні залежності впливу температури та навантаження на експлуатаційні показники.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання вибору та дослідження експлуатаційних параметрів авіаційних шин виробництва іноземних компаній є наслідком здійснення концепції розвитку авіаційної техніки та напрямків її модернізації.

В експлуатації мають місце декілька типових видів зношування протектора (рис. 2). Рівномірне зношування протектора на цій шині вказує на те, що здійснювалося технічне обслуговування шини, а експлуатація її відбувалася при правильному внутрішньому тиску (рис. 2, а). При зношуванні до шарів брекера/каркаса, шина не повинна залишатися в експлуатації й підлягає утилізації.

На деяких АШ спостерігається більш швидке зношування однієї із плечових зон шини в порівнянні з іншою (рис. 2, в), джерелом якого не є шина (наприклад, розвал коліс і т. ін.). Якщо це має місце, то експлуатація шини може бути продовжена шляхом демонтажу шини з колеса й повторної установки іншою стороною за умови, що не порушені умови щодо граничного зношування шини й іншим фізичним критеріям.

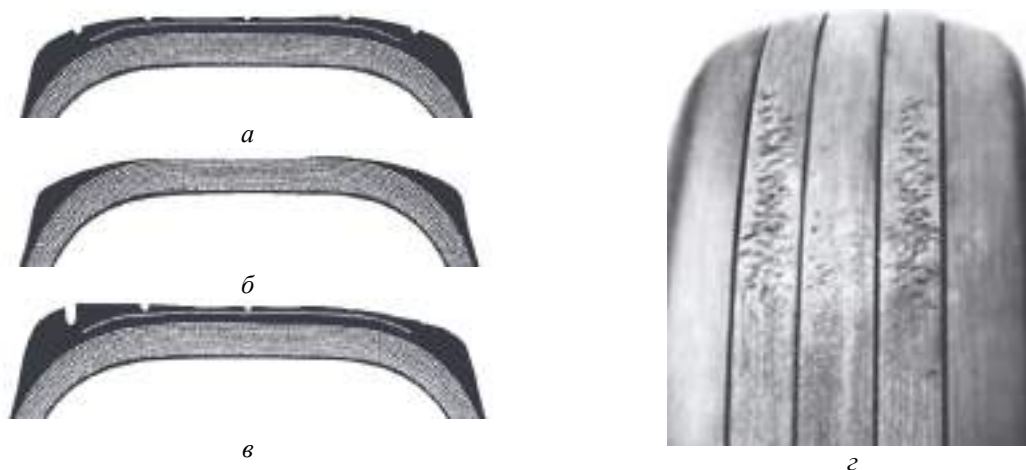


Рис. 2. Приклад типових видів зношування шин:
а – нормальне; *б* – надмірне; *в* – асиметричне; *г* – «шевронного» типу [10]

Крім типового зношування, великий вплив на АШ має стан покриття злітно-посадкових смуг аеродромів і ангарів. Незважаючи на наявність профілактичного обслуговування та передбачливість пілотів і наземної команди в підтримці льотної придатності, ушкодження шини неминучі, якщо злітно-посадкові смуги, рульові доріжки, відстійники й інші покриття аеродрому перебувають у незадовільному стані й не забезпечені відповідним обслуговуванням.

Ушкодження АШ сторонніми предметами є найбільш частим випадком передчасного зняття шин з експлуатації. Вибоїни, тріщини на бетонному або асфальтовому покритті, відколи бетону на крайках покриттів можуть призвести до ушкоджень шин. Про наявність осколків і щербинки на покритті необхідно негайно повідомити персонал аеродрому для негайного видалення та ремонту. Іншим небезпечним фактором є наявність різних загублених деталей на покриттях зовні або на підлозі в ангарі. Ці місця повинні підтримуватися завжди в чистоті й бути вільними від інструментів, болтів, заклепок і інших сторонніх предметів. Пильність і увага в ангарах і аеродромі зводять до мінімуму можливість ушкодження шин [4; 6-7].

Спеціальні маркери на протекторах дозволяють визначити, чи придатна АШ для використання або потрібна її заміна. Особливе значення серед різних систем контролю та підвищення ресурсу та зберігання АШ мають конструктивно-технологічні особливості та умови роботи АШ, її знос, довговічність і вартість відновлення. Вибір процесу відновлення істотно залежить від видів дефектів і причин його виникнення.

Відповідно до цього, проблема полягає в підвищенні надійності використання АШ при застосуванні альтернативних видів усунення пошкоджень. У деяких випадках при грубих помилках у пілотуванні внаслідок взаємодії різних видів руху можуть виникати небезпечні ситуації. Людський фактор найбільше полягає у відсутності у льотного складу навичок пілотування літака у складних умовах і просторових положеннях.

Виклад основного матеріалу. На практиці в обсязі регламентів технічного обслуговування за типами авіаційної техніки, у місцях базування літаків, на кожну АШ, що допускається до дослідної експлуатації, заведена картка обліку параметрів. У ній обліковуються параметри всіх зльотів та посадок літака, на якому встановлені ці шини. Якщо в польоті мало місце кілька приземлень (зльоти з конвеєру), фіксуються параметри першого зльоту і кожного приземлення. Особливу увагу звертають на нетипові випадки та аварійне гальмування.

Основними чинниками, що впливають на зношення АШ, у картках обліку параметрів вказують:

$m_{зл}$ – злітна маса літака, яка характеризує радіальне навантаження на шини під час зльоту, кг;

$V_{шл\ відр}$ – шляхова швидкість при відриві під час зльоту, яка характеризує максимальні кутові швидкості обертання шини, та довжину розбігу, км/год;

$m_{пос}$ – посадочна маса літака, кг;

$p_{у\ пос}$ – вертикальне перевантаження в центрі мас літака під час дотику при посадці, які характеризують радіальне навантаження на шини під час посадки;

$V_{шл\ пос}$ – шляхова швидкість під час дотику при посадці, яка характеризує максимальні кутові прискорення шини при розкручуванні колеса.

Крім того, на зношення шин впливає характер використання гальм, покриття злітно-посадкової смуги, характер зльоту та посадки, розподіл навантажень на стійки літака в процесі експлуатації тощо.

Після встановлення шини на колесо і після кожних 5^{+2} польотів фіксуються глибина протектору (видимі шари корду) та діаметр шини, значення яких також фіксують у картці обліку параметрів.

Матеріали первинної обробки даних, отриманих від військових частин та перспективність масового впровадження при високій техніко-економічній ефективності, підтверджені багатьма науково-дослідними роботами [9-12].

У військовій авіації шини використовуються дуже нерегулярно й не можна передбачити, коли вони стануть непридатними до експлуатації. З цієї причини обов'язковими є огляди їхнього стану після кожного польоту та перед ним.

Немає особливих правил щодо термінів використання АШ, але необхідно дотримуватись загальноприйнятих норм і правил зберігання та транспортування, недотримання яких призводить до нерівномірного зношування і дисбалансу [9; 15].

Основне завдання АШ — забезпечити літаку надійний зліт, посадку та руління впродовж усього життєвого циклу. І руління, і зліт, і посадка є невід'ємною частиною кожного польоту, під час якого авіаційні шини піддаються одночасному впливу високих швидкостей і навантажень. Схематично послідовність типового циклу польоту представлено на рис. 4, де умовно нахил графіку відповідає швидкості (інтенсивності) змінюванню параметру. Усі ці процеси мають виконуватися стабільно, забезпечуючи тривалий та надійний термін служби АШ.

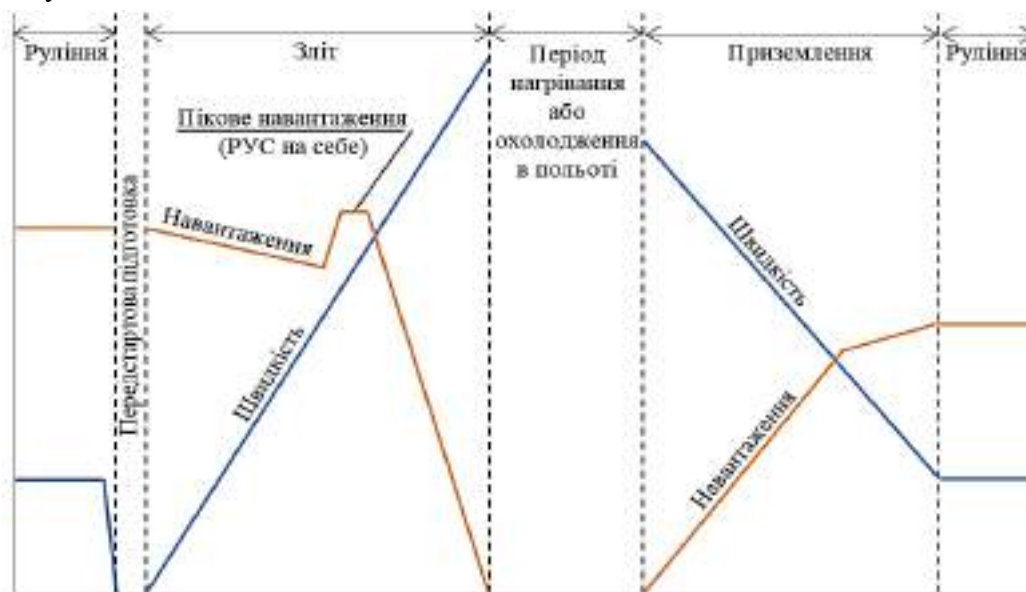


Рис. 4. Схема зміни навантаження та швидкості під час типового циклу польоту

Під час польоту шини знаходяться в умовах низьких температур, а кожного разу при посадці, багатотонна машина з величезною силою стикається із землею і набирає швидкість близько 300 км/год (деякі до 460 км/год), при цьому температура шини досягає 260 °С. Тож шини витримують велику різницю температур та навантаження.

Найбільшим навантаженням і зносу шини піддаються під час посадки. Їхню роботу в цей час можна розділити на кілька етапів. Перший: коли колесо залишається нерухомим, а шина стикалася з поверхнею. Через інерцію колесо розкручується не відразу і шина інтенсивно зношується. Потім відбувається вирівнювання швидкостей, але настає етап гальмування. На третьому етапі вся вага літака припадає на шини, але вони котяться вільно з мінімальним зносом.

Щоб зрозуміти ступінь збільшення теплоутворення у типових АШ, було випробувано кілька шин із вмонтованими в зазначених місцях температурними датчиками (термісторами), як показано на рис. 5.



Рис. 5. Шина зі встановленими термодатчиками [12]

При випробуваннях спостерігався та записувався реальний ріст температур у різних режимах вільного кочення шини. На наступних графіках (рис. 6) показаний вплив швидкості руління, внутрішнього тиску в шині й шляху руління на величину внутрішнього теплоутворення типової АШ.

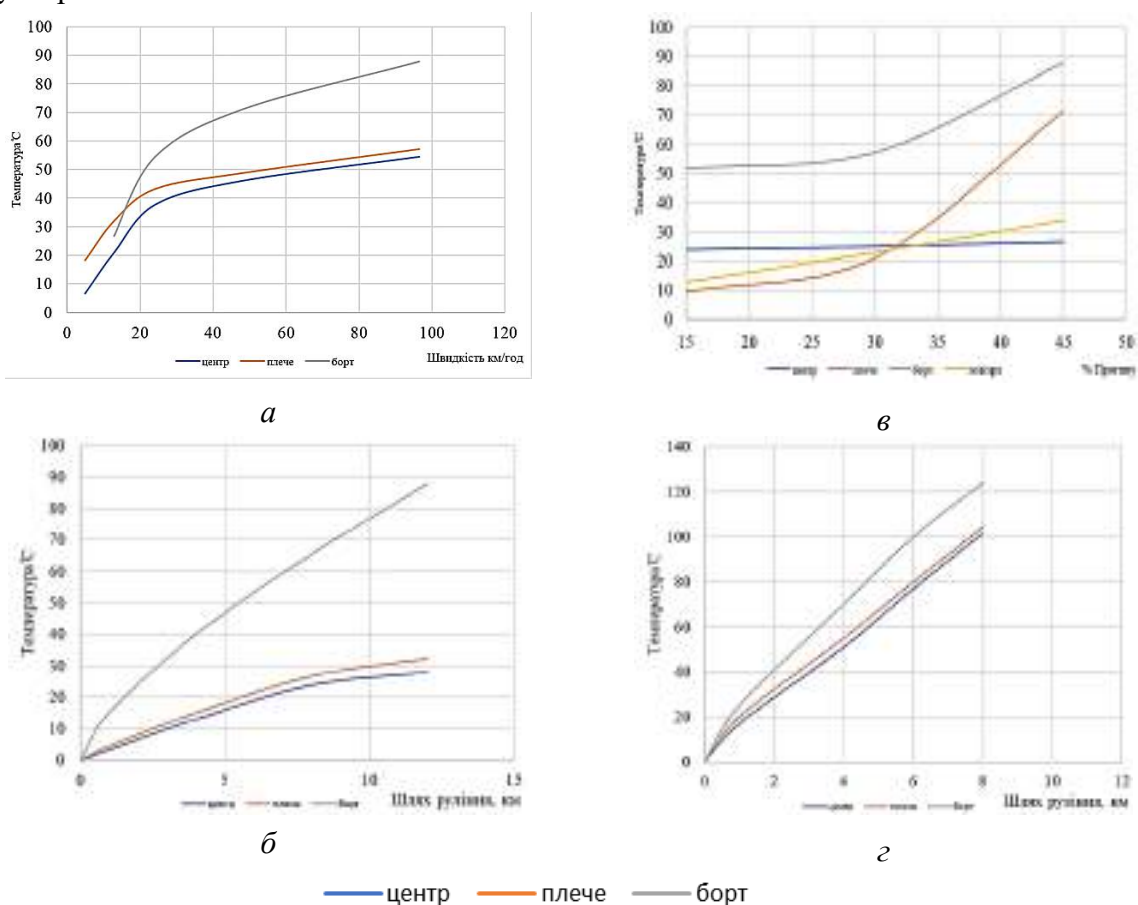


Рис. 6. Зростання температури залежно від швидкості (а), від шляху руління(б, г) та прогину (в)

На графіку (рис. 6, *a*) криві зі збільшенням швидкості руління мають тенденцію росту. Тобто чим швидше рухається літак на даному відрізку шляху, тим більшим є нагрівання шини. Багато фахівців вважають, що найбільші теплоутворення відбуваються в плечовій зоні шини. Насправді ж найгарячішим в шині є борт і нижня частина боковини. На це є дві основні причини.

1. Усі виникаючі в шині або діючі на шину сили зрештою передаються на борт. І ця зона стає зоною великого теплоутворення.

2. Гума є гарним ізолятором та дуже повільно розсіює тепло. Бортова зона, що є найбільш товстою частиною шини, затримує тепло на більш тривалий час, ніж будь-яка інша частина шини.

Результати, наведені на рис. 6, *в*, отримано для шини, яка була розроблена для експлуатації при її 32 % прогину. Ліворуч від 32 % криві характеризують роботу шини з перевищенням внутрішнього тиску, а праворуч – зі знизеним тиском. При постійній швидкості та проходженні шиною певного відрізка шляху чим менше в шині тиск, тим гарячішою вона стає.

Швидкість збільшення температури залежно від величини зниження тиску найбільша в плечовій зоні через збільшені деформації в цьому місці. Проте бортова частина все ж залишається самим гарячим місцем шини.

Навіть якщо тиск в авіаційній шині в межах норми та працює при припустимій швидкості кочення, швидкість теплоутворення в шині все одно завжди буде перевищувати швидкість розсіювання тепла (рис. 6, *б*). Це підтверджується кривими на графіку, які мають постійну тенденцію до збільшення. Чим довший шлях руління шини, тим гарячішою вона буде до початку зльоту.

На рис. 6, *г* представлений вплив недостатнього тиску в шині при високих швидкостях руління на зростання теплоутворення. Порівняння проводилося між шинами працюючими при 32 і 40 % прогину. Не тільки підйом кривої при 40% прогину виявився крутішим (через більш високу швидкість теплоутворення) аніж при 32%, але й шина, що працювала при 40 % прогину зруйнувалася в нижній частині боковини після проходження шляху в 8 кілометрів.

Під час зльоту конструкція АШ повинна бути здатна витримувати не тільки навантаження літака, а й сили, що створюються при високих швидкостях кочення при розбігу. Посадка додатково вимагає стійкості для поглинання колосальних динамічних ударних навантажень.

Графічні залежності зміни навантаження і швидкості за часом і відстанню у кожного літака індивідуальні, однак загалом відповідають загальній картині процесів, що відбуваються в польоті.

Експлуатація АШ на літаках Повітряних Сил Збройних Сил України не потребує додаткового навчання особового складу, додаткових спеціальних засобів наземного обслуговування та розхідних матеріалів, при цьому вони витримують більшу кількість приземлень, ніж штатні виробництва РФ.

Висновки. Статистичний аналіз впливу експлуатаційних факторів на кількість польотів та розробка рекомендацій щодо максимального використання ресурсних показників АШ дозволить в подальшому визначити математичні залежності впливу температури та навантаження на експлуатаційні показники. Але вже сьогодні за даними лабораторних та експлуатаційних випробувань температурних факторів можна запропонувати прогнозування таких властивостей надійності, як довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність.

Запропонований підхід до системного дослідження температурного впливу на експлуатаційні показники на прикладі АШ іноземного виробництва пройшов апробацію при виконанні науково-дослідного супроводження під час випробувань авіаційних шин виробництва компаній REDSOUN (Республіка Індія), QINGAO AOTAI RUBBER CO.LIMITED (Китайська Народна Республіка) і STOMIL-POZNAN S.A. (Республіка Польща).

Список використаних джерел

1. Макаренко Н. Что внутри авиационной шины? Секрет «сосуда высокого давления» и современные технологии [Электронный ресурс] / Н. Макаренко // Наука и техника. – Режим доступа: <https://naukatehnika.com/chto-vnutri-aviacionnoj-shiny.html>.
2. Кульба П. П. Дослідження експлуатаційних показників авіаційних шин іноземного виробництва : випускна атестаційна робота магістра / П. П. Кульба. – Чернігів : ЧНТУ, 2018. – 247 с.
3. Кульба П. П. Сучасний стан та перспективи імпортозаміщення парашутно-гальмівних систем вітчизняного виробництва / П. П. Кульба, А. І. Сергієнко // Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах : збірник XX науково-технічної конференції, 03-04 вересня 2020 р. / ДНДІ ВС ОВТ. – Чернігів : Видавець Брагинець О. В., 2020. – С. 146.
4. А.С. № 1757316 СССР: МКИ В 01 М 17/02. Способ ускоренных стендовых испытаний авиашин / Гитмейер Л.И., Мартынюк Е. М., Москаленко В. К и Волчек В. Г. (СССР). – № 4846789/11; Заяв. 03. 07. 90. Изобретения не публикуемые в открытой печати № 8, 1992. – С. 53.
5. Gitmeyer L. I. Improvement in aircraft tyres reliability / L. I. Gitmeyer, V. N. Moskalenko // Prostor. – 1993. – № 1. – Pp. 9-25.
6. Шины и ободья авиационные. Технические требования. Межгосударственный Стандарт (ISO 3324-1:2013, IDT). – М. : Стандартинформ, 2017. – 28 с.
7. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: курс лекцій / О. В. Кустовська. – Тернопіль : Економічна думка, 2005. – 124 с.
8. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных : пер. с англ. / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М. : Мир, 1989. – 540 с.
9. ГОСТ Р ИСО 3324-2-93 Шины авиационные. Методы испытания шин. – Дата введения 1994-01-01. – 44 с.
10. Technical care and maintenance of aviation tires. On the wings of goodyear. The Goodyear Tire & Rubber Company. All rights reserved (012096) 09/05. – 155 p.
11. MILITARY AIRCRAFT TIRES / PERFORMANCE [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.petlas.com/flight-care>.
12. Goodyear Aviation Innovations / Every one of our Goodyear Firsts was a product of hard work and commitment. [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.goodyearaviation.com/about/innovations.html>.

References

1. Makarenko N. (2019). Chto vnutyri aviatsionnoi shiny? Sekret «sosuda vysokogo davleniia» i sovremennye tekhnologii [What vnutyri avyatsyonnoi shyny? Sekret "sosuda vysokoho davlenyia" y sovremennye tekhnolohy]. *Nauka y tekhnika – Science and technology*. <https://naukatehnika.com/chto-vnutri-aviacionnoj-shiny.html>.
2. Kulba, P.P. (2018). *Doslidzhennia ekspluatatsiinykh pokaznykiv aviatsiinykh shyn inozemnoho vyrobnystva [Study of operational indicators of foreign-made aviation tires: master's graduation thesis]*. ChNTU.
3. Kulba, P.P., & Serhiienko, A.I. (2020). Suchasnyi stan ta perspektyvy importozamishchennia parashutno-halmivnykh system vitchyznianoho vyrobnystva [Current state and prospects of import substitution of parachute-brake systems of domestic production]. *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: zbirnyk XX naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Creation and modernization of weapons and military equipment in modern conditions: collection of the 20th scientific and technical conference* (p. 146). Vydavets Brahynets O. V.
4. Gitmeyer, L.I., Martynyuk, Ye.M., Moskalenko, V.K., & Volchek, V.G. (1993). A.S. № 1757316 SSSR: МКИ В 01 М 17/02. Способ uskorenykh stendovykh isptanii avtashtn. № 4846789/11 [A. S. № 1757316 USSR: МКИ В 01 М 17/02. A method for accelerated bench testing of aircraft tires].
5. Gitmeyer, L.I., Moskalenko, V.N. (1993). Improvement in aircraft tyres reliability. *Prostor*, (1), 9-25.
6. i obodia aviatsionnye. Tekhnicheskie trebovaniia. Mezhhosudarstvennyi Standart (ISO 3324-1:2013, Shiny IDT) [Tires and rims for aviation. Technical requirements. Interstate Standard (ISO 3324-1:2013, IDT)]. (2017). Standartynform.
7. Kustovska, O.V. (2005). *Metodolohiia systemnoho pidkhodu ta naukovykh doslidzhen: kurs leksii [Methodology of systemic approach and scientific research: a course of lectures]*. Ekonomichna dumka.

8. Bendat, Dzh., Pysol, A. (1989). *Prykladnoi analiz sluchainykh dannykh [Applied analysis of random data]*. Mir.
9. GOST R ISO 3324-2-93 Shiny aviatsionnye. Metody ispytaniia shin [Aircraft tyres. Test methods for tyres]. (1994-01-01).
10. Technical care and maintenance of aviation tires. On the wings of goodyear. The Goodyear Tire & Rubber Company. All rights reserved (012096) 09/05.
11. MILITARY AIRCRAFT TIRES / PERFORMANCE. <https://www.petlas.com/flight-care>.
12. Goodyear Aviation Innovations / Every one of our Goodyear Firsts was a product of hard work and commitment. <https://www.goodyearaviation.com/about/innovations.html>.

Отримано 28.08.2022

UDC 621.923.42:623.746

Pavlo Kulba¹, Oleg Cherednikov², Volodymyr Boiarov³, Andrii Yeroshenko⁴

¹Senior Research Fellow

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: Pavlo.kulba@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9256-3884>

²PhD in Technical Sciences, Senior Research Fellow

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Chernihiv, Ukraine)

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

³Senior Research Fellow

State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification (Chernihiv, Ukraine)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5824-0678>

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Wood technology
Chernihiv National University of Technology (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: yeroshenkoam@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>

ResearcherID: [G-6757-2014](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516). Scopus Author ID: [57193700687](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516)

STUDY OF THE TEMPERATURE INFLUENCE ON THE PERFORMANCE INDICATORS OF FOREIGN-MANUFACTURED AVIATION TIRES

In order to maintain the airworthiness of aircraft in service with our country, there is an urgent need to provide consumable components. Since 2015, experimental operation of aviation tires produced by the companies REDSOUN (Republic of India), QINGAO AOTAI RUBBER CO.LIMITED (People's Republic of China) and STOMIL-POZNAN S.A. (Republic of Poland) has been carried out on aircraft of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine and helicopters of the army aviation of the Ground Forces of the Armed Forces of Ukraine in order to determine the possibility and justify the decision on the admission of these aviation tires to regular operation.

Despite the extensive experience in the production of AT, the problems of theoretical and experimental research of their operational indicators remain quite relevant for modern aviation today and are subject to consideration.

The spectrum of tire operation in various areas of application, the composition and design of modern aviation tires, typical types of tread wear, dependences of changes in load and speed over time and distance during flight, and dependences of temperature changes in different modes of free rolling of the tire are considered. The effect of insufficient pressure and overload on the shear forces and parameters of all take-offs and landings of the aircraft on which the tires are installed is determined.

An analysis of the characteristics of tire operation, depending on the number of flights before removing the tires, on the ground speed during take-off, and on the weight of the aircraft was carried out.

Statistical analysis of the influence of operational factors on the number of flights before tire removal due to wear and tear and the development of recommendations for the maximum use of resource indicators of aviation tires allow to determine mathematical dependencies that describe the influence of certain operational factors on the wear and tear of aviation tires.

The studies of the influence of operational factors on the wear of aviation tires during the experimental operation allowed to determine the possibilities and substantiate the decision to admit aviation tires 610x185 model 1A produced by the company REDSOUN (Republic of India) to regular operation on L-39 aircraft of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine were conducted.

Keywords: aviation tire, wear, intensity of wear; functional purpose; takeoff mass.

Fig.: 5. References: 15.

**Володимир Кальченко¹, Андрій Єрошенко²,
Володимир Венжега³, Дмитро Кальченко⁴**

¹доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: vykalchenko74@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>
ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976). Scopus Author ID: [56644727300](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

²кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: yeroshenkoam@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1629-9516>
ResearcherID: [G-6757-2014](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516). Scopus Author ID: [57193700687](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516)

³кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: vivenzhega@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>
Researcher ID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X). Scopus Author ID: [16510833000](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

⁴аспірант
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: itmia@ukr.net. Scopus Author ID: [56939026500](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ РОЛИКІВ ПІДШИПНИКІВ НА МОДЕРНІЗОВАНОМУ ДВОСТОРОННЬОМУ ТОРЦЕШЛІФУВАЛЬНОМУ ВЕРСТАТІ 3342АДО

У роботі досліджено високопродуктивний спосіб обробки торцевих поверхонь роликів підшипників на двосторонньому торцешліфувальному верстаті з модернізованою системою правки від ЧПК, яка дозволила отримати конічну форму калібруючої ділянки на торці круга з нульовою геометричною похибкою, оскільки пряма лінія конуса збігається з обробленою площиною. Це забезпечить вищі вимоги щодо точності та дасть можливість проводити комплектування підшипників без сортування на розмірні групи – методом повної взаємозамінності та сприятиме збільшенню терміну довговічності підшипників, оскільки осьове навантаження буде більш рівномірно розподілятися по торцям роликів.

Ключові слова: двостороння торцешліфувальна обробка; правка кругів; теплонапруженість процесу шліфування; профільовані та орієнтовані шліфувальні круги; ролики підшипників кочення; точність обробки торцевих поверхонь роликів підшипників.

Рис.: 9. Бібл.: 8.

Актуальність теми дослідження. Підвищення точності та продуктивності обробки торцевих поверхонь роликів підшипників кочення є важливою науково-практичною задачею, вирішення якої дозволить як підвищити термін служби підшипників, так і здешевити їх виробництво, а отже, підвищити рівень конкурентоспроможності продукції. Підшипники кочення є високоточними складальними одиницями, що виготовляються на спеціалізованих заводах і використовуються у високошвидкісних механізмах та в механізмах зі значними силовими навантаженнями та високими вимогами до точності їх центрування. Вони мають повну взаємозамінність за внутрішнім та зовнішнім діаметрами та шириною кілець. Між кільцями та тілами кочення існує неповна взаємозамінність. Їх складають селективним методом, що полягає в точному вимірюванні дійсних розмірів поверхонь, сортуванні їх на розмірні групи в порядку зростання розмірів від найменшого до найбільшого з невеликою їх градацією та маркуванні розсортованих виробів для їх подальшого складання. Тому дуже важливо забезпечити точність обробки тіл кочення та кілець з мінімальним розсіюванням розмірів оброблених поверхонь для зменшення трудомісткості складання.

Постановка проблеми. До торцевих поверхонь роликів підшипників кочення висуваються високі вимоги щодо точності розмірів, форми та якості торцевих поверхонь при забезпеченні високої продуктивності обробки. Ролики повинні виготовлятися згідно з вимогами стандартів із підшипникової сталі ШХ 15 та термічно оброблені до твердості 60...65 HRC, не мати тріщин, раковин, корозії, слідів припалів. Для роликів встановлено три ступеня точності I, II, та III, для яких нормуються основні параметри. Так, наприклад, для ступеня точності I при довжині ролика до 30 мм верхнє граничне відхилення $es = +1,5$ мкм, нижнє $ei = -7,5$ мкм, випуклість торця до 2 мкм. Увігнутість торців роликів не допускається.

У роботі потрібно провести експериментальні дослідження теплонапруженості процесу шліфування торцевих поверхонь роликів підшипників на модернізованому двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО та дослідити обертання заготовок у зоні обробки при знятті чорнового припуску та в калібрувальній зоні і його вплив на кінцеву точність.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Продуктивність торцевого шліфування обмежується теплонапруженістю процесу через участь у зніманні припуску великої кількості абразивних зерен. Якість обробленої поверхні залежить від температури на торці деталі. Теоретичним дослідженням теплонапруженості процесу шліфування присвячені роботи багатьох вітчизняних та закордонних учених, проте наявні залежності наведені здебільшого для шліфування циліндричних поверхонь периферією кола.

Основними внутрішніми джерелами тепла є зона різання та підшипники шпиндельних опор.

При торцевому шліфуванні початкове положення шліфувальних кругів один відносно одного й базових поверхонь верстата змінюється внаслідок теплових деформацій, що позначається на точності виробів, що обробляються [1]. При проведенні досліджень авторами було встановлено, що зміна температури МОР (мастильно-охолоджуючої рідини) на 1°C при шліфуванні підшипникових кілець діаметром 90 мм призводить до збільшення неплоскостності торців на 0,12 мкм, а непаралельності – на 0,63 мкм.

Для визначення впливу кожного джерела тепла на положення шліфувальних кругів використано дві схеми навантаження верстата:

- обертання шпинделя на холостому ходу (при цьому визначали зміну положення кругів під дією тепла, що виділяється в підшипниках);
- нагрівання МОР (за допомогою електронагрівача без обертання шпинделя). Швидкість нагрівання МОР приблизно відповідала швидкості її нагрівання на реальному верстаті.

У результаті експерименту побудовано графік зміни положення шліфувального круга у вертикальній площині залежно від часу обробки (рис. 1).

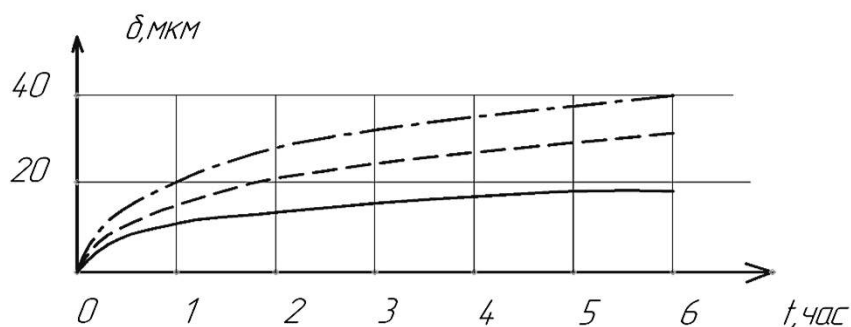


Рис. 1. Графік зміни положення шліфувального круга у вертикальній площині залежно від часу роботи

Суцільна лінія відповідає обертанню шпинделя на холостому ході; штрихова – при підігріванні МОР без обертання шпинделя, штрих-пунктирна – обертання шпинделя та підігрівання МОР. Стабілізація положення шліфувальних кругів настає від нагрівання шпиндельних опор через 2 години, від підігріву – через 6 годин.

У роботі [2] розглянуто баланс теплових потоків у торцешліфувальному верстаті. Кількість виділеної в робочій зоні теплоти (кДж) протягом часу шліфування розраховується за формулою:

$$Q_1 = 3600N \cdot t,$$

де N – потужність шліфування, кВт;

t – час шліфування, с.

Однак сумарна кількість теплоти в зоні, що розглядається, буде більшою через надходження в неї теплоти разом з МОР.

$$Q_{\Sigma} = Q_1 + Q_{\text{дон.}}$$

При шліфуванні на двосторонньому торцешліфувальному верстаті з подачею МОР на водній основі 10 % теплоти, що виникає, переходить у верстат, 5 % йде з деталями, а 85 % йде в МОР.

Зменшення впливів теплових деформацій на точність двостороннього торцевого шліфування можна досягти шляхом стабілізації температури МОР.

У загальному балансі теплових деформацій зсув торців кругів викликаний зміною температури опор шпинделів становить 20-25%, а зміною температури МОР 75-80%.

Вплив високотемпературних процесів в контакті шліфувального круга і заготовок на стан поверхневого шару і появу припалів пропонується вирішити в роботах [3] та [4]. Практичним результатом рішення першої теплофізичної проблеми в роботах [3] і [4] є вдосконалення конструкції і робочого профілю шліфувального круга. В [3] запропоновано шліфувальний круг з отворами для підвода МОР в зону контакту, що розташовані по концентричним колам. Вони ж виконують функцію додаткових тепловідводів. У роботі [4] для уникнення припалів пропонується використовувати переривчасті круги з пазами різної конфігурації. Для цього розроблені відповідні пристрої правки шліфувальних кругів.

Забезпечення раціональних кінематичних характеристик руху заготовки при проходженні зони обробки є важливою задачею, що впливає на точність обробки. Для реалізації сприятливого з погляду формування точності руху заготовки в зоні шліфування розроблені різні схеми примусового її обертання [5-7].

Для забезпечення заданого закону зміни кутової швидкості вільної заготовки в гнізді диска-сепаратора автором проведені спеціальні розрахунково-експериментальні дослідження. Запропоновано методику визначення сукупності технологічних параметрів (кути нахилу шліфувального круга, швидкість подачі та припуск на обробку), що забезпечує реалізацію оптимальної характеристики обертання заготовки, при якій забезпечується необхідна точність обробки [8].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій свідчить про важливість теплового впливу і обертання заготовок в зоні обробки при двосторонньому торцевому шліфуванні на продуктивність, точність та якість оброблених торцевих поверхонь. При шліфуванні зі схрещеними осями кругів і заготовок це набуває ще більш важливого значення оскільки проводиться спеціальна профільна правка круга, що дає змогу отримати на поверхні круга ділянку для зняття чорнового припуску та калібрувальну ділянку. Але отримана механізмами правки, які є на верстаті, калібрувальна ділянка має геометричну похибку (увігнутість), що знижує точність оброблених поверхонь. Тому потрібно модернізувати систему правки верстата задля надання правильної геометричної форми калібрувальним ділянкам шліфувального круга і провести експериментальні дослідження теплонапруженості процесу шліфування торцевих поверхонь роликів підшипників на модернізованому двосторонньому торцешліфувальному верстаті 3342АДО та дослідити обертання заготовок у зоні обробки при знятті чорнового припуску та в калібрувальній зоні і їхній вплив на кінцеву точність.

Метою статті є експериментальне дослідження на торцешліфувальному верстаті 3342 АДО з модернізованою системою правки температури на торцях оброблюваних роликів підшипників та обертання роликів у закритій зоні між двома шліфувальними кругами по координаті обробки.



Рис. 3. Верстат 3342 АДО з двигуном постійного струму, що керується системою ЧПК і забезпечує переміщення диску подачі з алмазним правлячим олівцем



Рис. 4. Верстат 3342 АДО з двигуном постійного струму, що керується системою ЧПК і забезпечує скоординоване переміщення шліфувальної бабки в осьовому напрямі

Експериментальне дослідження температури проводилися під час шліфування циліндричних роликів підшипників діаметром 20 мм, встановлених у втулках барабана подачі заготовок, що здійснює кругову подачу в зону обробки, із застосуванням ЗОТС – емульсола.

Для визначення температури на торцях заготовки була використана штучна термопара хромель-капель. Спай термопар фіксувався на торцях заготовки. Середній діаметр спаю становив близько 1,5 мм.

Для підсилення напруги термопар, розміщених на торцях заготовки, використовувався двоканальний підсилювач постійного струму.

Тарування тракту термопара – вимірювальний підсилювач проводилося за допомогою печі СШОЛ – 1.1 6112 – М3 – У4.2, у яку поміщувались досліджувані зразки з термопарами, підключеними до вимірювального підсилювача. Напряга на виході підсилювачів контролювалася мілівольтметром ВЗ 53. Для запису показань використовувався самописець Н3031/1. Похибка вимірювання температури становила $\pm 10^0$ С. Тарувальний графік наведено на рис. 5.

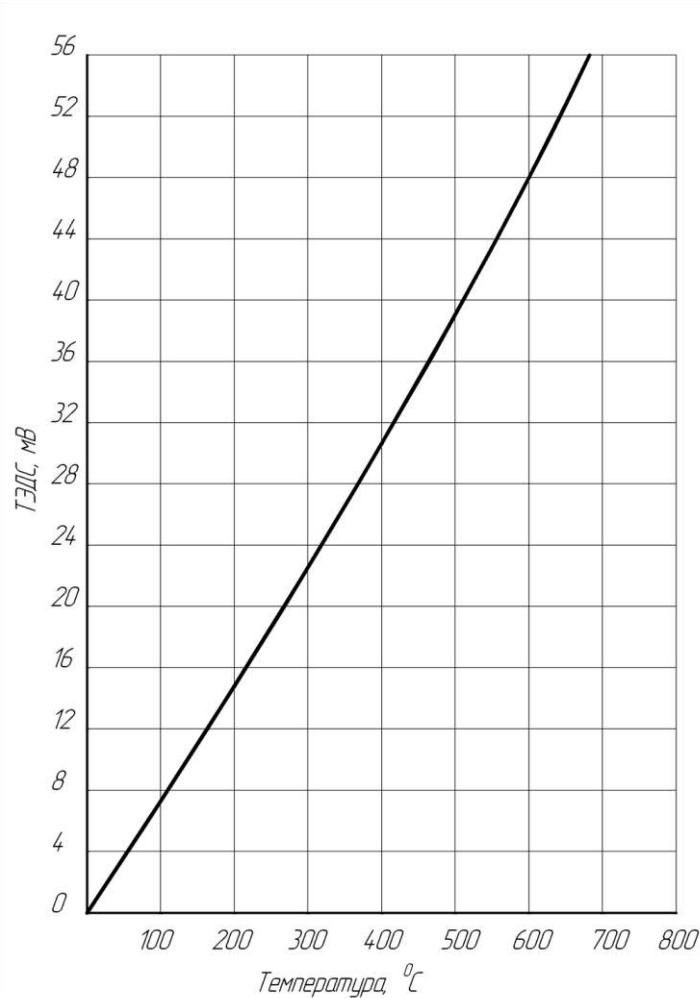


Рис. 5. Тарувальний графік т. е. д. с. термопари хромель – капель залежно від температури

При проведенні дослідів використовувався повний факторний експеримент 2^3 при врахуванні взаємодії між факторами. Як технологічний фактор було прийнято швидкість подачі заготовок, припуск, що знімається та величина розвертання кругів у вертикальній площині.

Деякі результати дослідів наведені на рис. 6-9.

Теплонапруженість процесу торцевого шліфування набагато вища через велику кількість абразивних зерен, що беруть участь у різанні. Отримані графіки залежності температури від координати обробки, під якою розуміють координату переміщення ролика по торцевій поверхні круга, показують, що при шліфуванні з паралельними кругами, без розвороту в горизонтальній і вертикальній площині, температура досягає максимального значення при вході в зону різання та досягає значення до 700^0 С. При новому способі правки з розвернутими в двох площинах і профільованими кругами максимальне значення температури значно менше і складає близько 400^0 С. Шліфування проводилось зв швидкістю подачі заготовок 0,78 м/хв, загальним припуском 0,3 мм та швидкістю різання 35 м/с. За допомогою розробленої моделі можна керувати теплонапруженістю процесу шляхом вибору раціональної орієнтації та профілювання кругів.

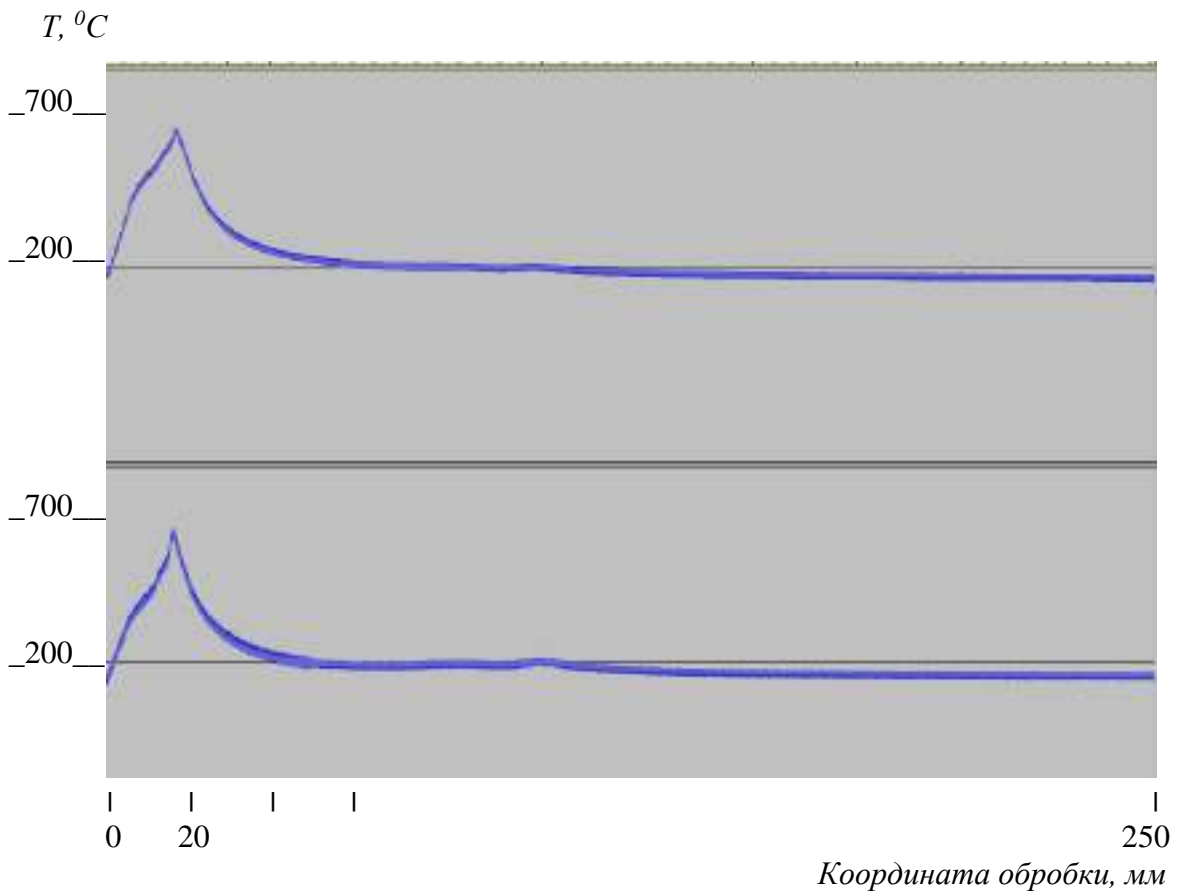


Рис. 6. Зміна температури по координаті обробки при паралельних кругах

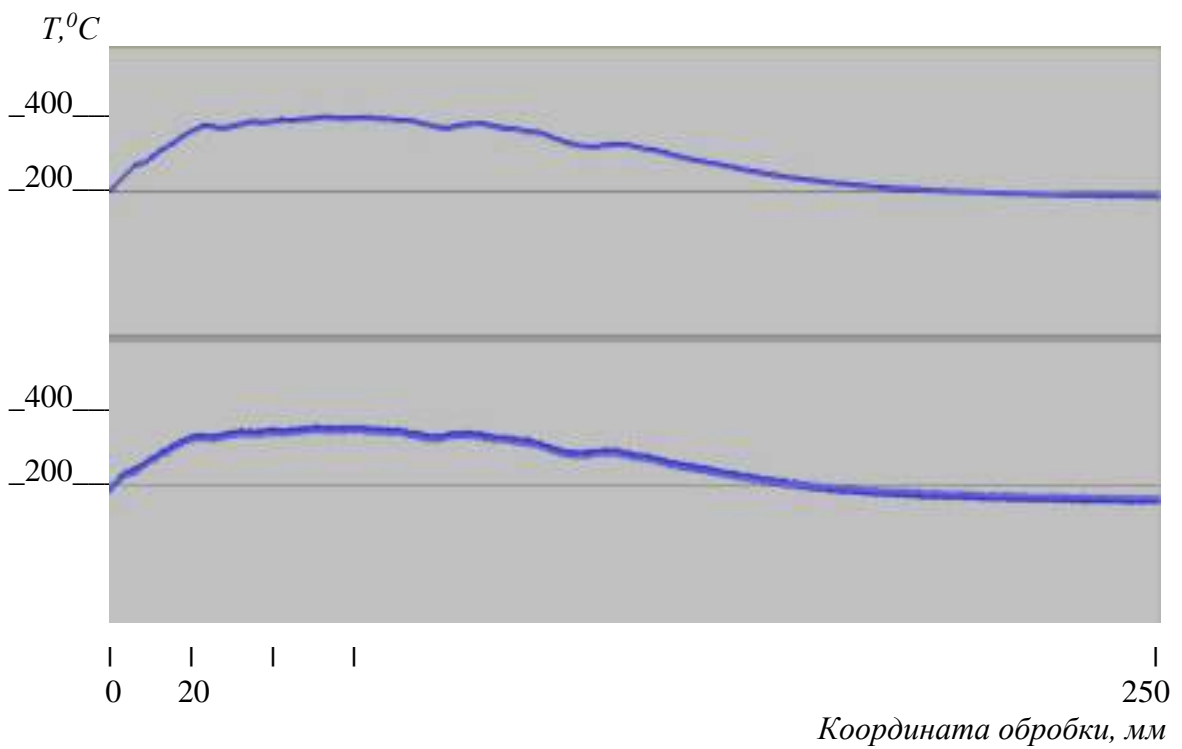


Рис. 7. Зміна температури по координаті обробки при орієнтованих і профільованих

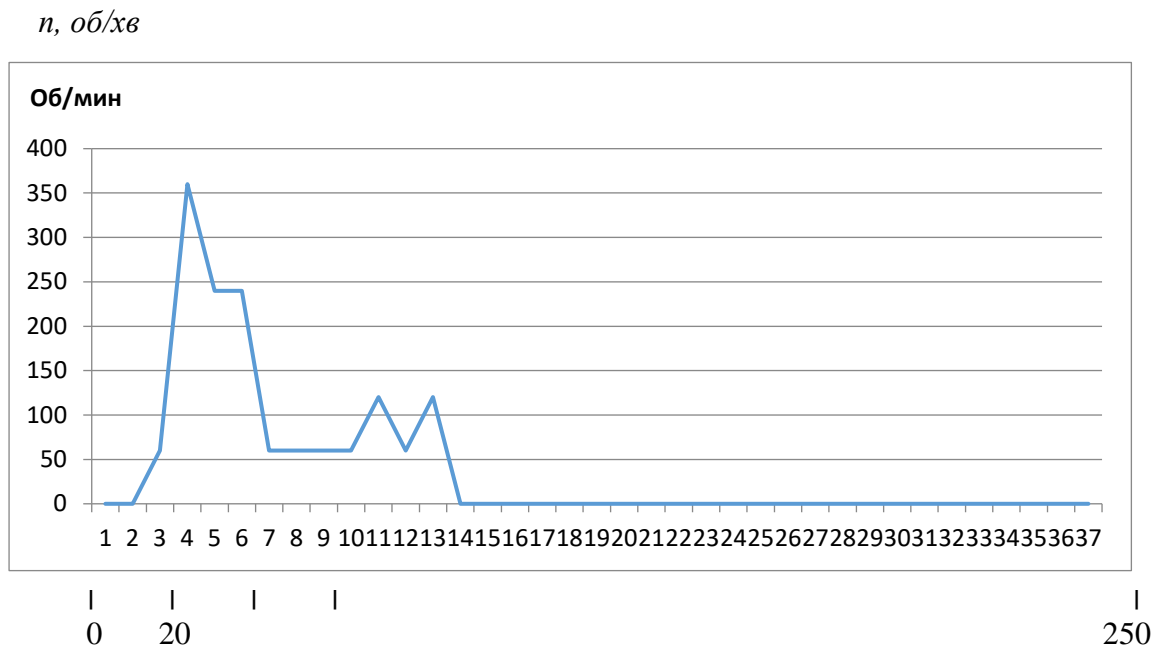


Рис. 8. Обертання заготовки по координаті при обробці з паралельними кругами

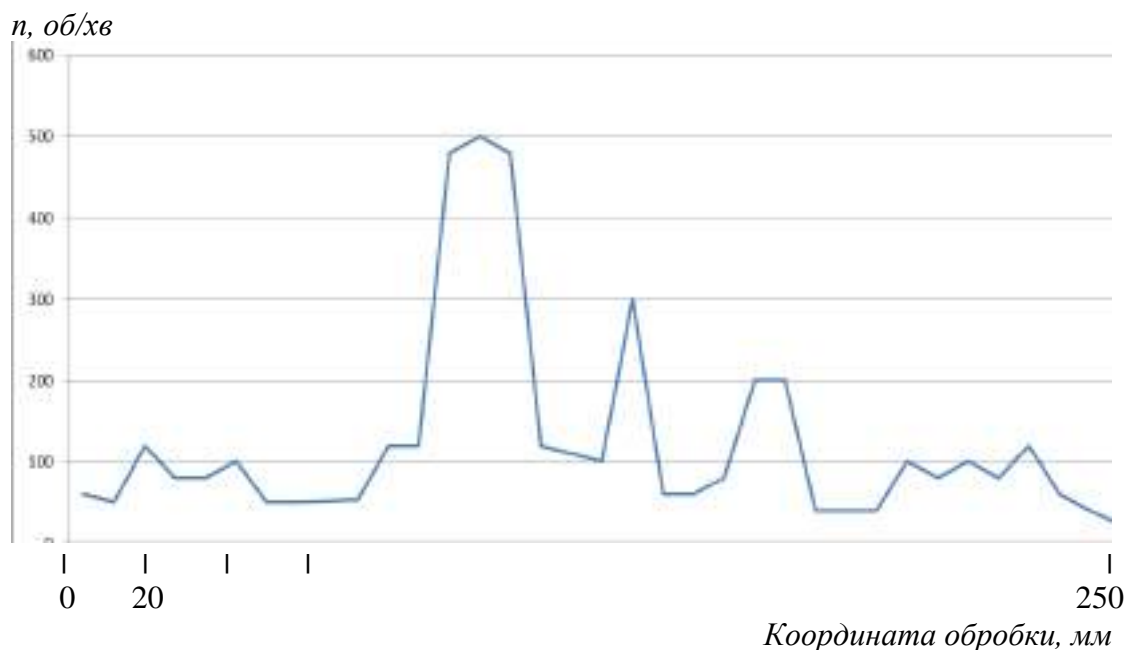


Рис. 9. Обертання заготовки по координаті при обробці з орієнтованими і профільованими кругами

Дослідження обертання заготовок по координаті обробки за допомогою індуктивного датчика показали, що при обробці з паралельними кругами обертання роликів здійснюється тільки при врізанні на чорновій ділянці та досягає близько 350 об/хв, поступово зменшуючись до нуля при виході із зони обробки. Проведені дослідження показують, що для підвищення точності обробки необхідно, забезпечити обертання заготовок на калібрувальній ділянці при виході із зони обробки. На рис. 9 наведено обертання заготовок при шліфуванні орієнтованими в двох площинах кругами з правкою по новому способу. Як свідчить цей графік, обертання з різними швидкостями відбувається по всій довжині обробки, в тому числі й на калібрувальній ділянці при виході із зони обробки. Найкращі за точністю результати отримані при співвідношенні кутів орієнтації у вертикальній ν і горизонтальній γ площинах $\gamma = 1,57 \cdot \nu$.

Висновки. У роботі досліджено високопродуктивний спосіб обробки торцевих поверхонь роликів підшипників на двосторонньому торцешліфувальному верстаті з модернізованою системою правки від ЧПК, яка дозволила отримати конічну форму калібрувальної ділянки на торці круга з нульовою геометричною похибкою, оскільки пряма лінія конуса збігається з обробленою площиною. Проведені дослідження температури по координаті обробки показали її значне зниження при обробці та більш рівномірний розподіл. При цьому обертання заготовок здійснюється по всій зоні обробки. Це забезпечить більш високі вимоги за точністю та дасть можливість проводити комплектування підшипників без сортування на розмірні групи – методом повної взаємозамінності та сприятиме збільшенню терміну довговічності підшипників, оскільки осьове навантаження буде рівномірніше розподілятися по торцям роликів.

Список використаних джерел

1. Шахновский С. С. Влияние тепловых деформаций на положение шлифовальных кругов торцешлифовального станка / С. С. Шахновский, И. А. Андрианова // Станки и инструмент. – 1982. – № 9. – С. 20-21.
2. Шахновский С. С. Баланс тепловых потоков в торцешлифовальном станке / С. С. Шахновский // Станки и инструмент. – 1989. – № 6. – С. 13-15.
3. Савинская В. Г. Качество поверхностного слоя дисков трения при торцевом двустороннем шлифовании / В. Г. Савинская // Прогрессивные технологии чистовой и отделочной обработки. – 1995. – № 12. – С. 102-106.
4. Гурьянихин В. Ф. Повышение эффективности двустороннего торцевого шлифования тонкостенных заготовок / В. Ф. Гурьянихин, А. Д. Евстигнеев // СТИН. – 2006. – № 3. – С. 34-35.
5. Salhe E. Plan- und Planprofilschleifmaschinen / E. Salhe, G. Rohde // VDI-Z. – 1882. – Vol. 124, № 23/24. – Pp. 129-137.
6. Вайнер Л. Г. Способ двустороннего торцевого шлифования цилиндрических деталей / Л. Г. Вайнер // Патент №2455142 РФ. МПК В24В7/17 / №2010153645. – Заявл. 27.12.2010. Опубл. 10.07.2012. Бюл. № 19. – 4 с.
7. Вайнер Л. Г. Способ двустороннего торцевого шлифования цилиндрических деталей / Л. Г. Вайнер // Патент №2463150 РФ. МПК В24В7/17 / №2010153444/02. – Заявл. 27.12.2010. Опубл. 10.10.2012. Бюл. № 28. – 4 с.
8. Building a model of the process of shaping tapered calibrating areas of wheels at the two-sided grinding of round ends / V. Kalchenko, V. Kalchenko, A. Kolohoida, O. Kalchenko, D. Kalchenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2022. – Vol. 2(1(116)). – Pp. 62-70.

References

1. Shakhnovsky, S.S., & Andrianova, I.A. (1982). Vliianie teplovykh deformatsii na polozhenie shlifovalnykh kruhov tortseshlifovalnogo stanaka [Influence of thermal deformations on the position of grinding wheels of a face grinding machine]. *Stanki i instrument – Machine tools and instruments*, (9), 20-21.
2. Shakhnovsky, S.S. (1989). Balans teplovykh potokov v tortseshlifovalnom stanke [Balance of heat flows in a face grinding machine]. *Stanki i instrument – Machine tools and instruments*, (6), 13-15.
3. Savynskaia, V.G. (1995). Kachestvo poverkhnostnogo sloia diskov treniia pri tortsovom dvustoronnem shlifovanii [The quality of the surface layer of friction disks during face two-sided grinding]. *Progressivnye tekhnologii chistovoi i otdelochnoi obrabotki – Progressive technologies of finishing and finishing processing*, (12), 102-106.
4. Gurianikhin, V.F., & Evstigneev, A.D. (2006). Povysheniye effektivnosti dvustoronnego tortsevogo shlifovaniia tonkostennykh zagotovok [Increasing the efficiency of two-sided end grinding of thin-walled blanks]. *STIN – WALL*, (3), 34-35.
5. Salhe, E., Rohde, G. (1882). Plan- und Planprofilschleifmaschinen. *VDI-Z*, 124(23/24), 129-137.
6. Vainer, L.H. (2012). *Sposob dvustoronnego tortsevogo shlifovaniia tsilindricheskikh detalei [The method of two-sided end grinding of cylindrical parts]*. Patent No. 2455142 of the Russian Federation.
7. Vainer, L.H. (2012). *Sposob dvustoronnego tortsevogo shlifovaniia tsilindricheskikh detalei [The method of two-sided end grinding of cylindrical parts]*. Patent No. 2463150 of the Russian Federation.

8. Kalchenko, V., Kalchenko, V., Kolohoida, A., Kalchenko, O., & Kalchenko, D. (2022). Building a model of the process of shaping tapered calibrating areas of wheels at the two-sided grinding of round ends. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(1(116)), 62–70.

Отримано 15.09.2022

UDC 621.923.42

Volodymyr Kalchenko¹, Andriy Yeroshenko², Volodymyr Venzhega³, Dmytro Kalchenko⁴

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in scientific and pedagogical work
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: yvkalchenko74@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9072-2976>

ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976). Scopus Author ID: [56644727300](https://orcid.org/0000-0002-9072-2976)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department Mechanical Engineering and Wood Technology
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: yeroshenkoam@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1629-9516>

ResearcherID: [G-6752-2014](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516). Scopus Author ID: [57193700687](https://orcid.org/0000-0002-1629-9516)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: vivenzhega@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

Researcher ID: [H-3560-2014](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X). Scopus Author ID: [16510833000](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

⁴PhD student

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: itmia@ukr.net. Scopus Author ID: [56939026500](https://orcid.org/0000-0002-8857-349X)

EXPERIMENTAL STUDIES OF GRINDING OF THE ENDS OF BEARING ROLLERS ON THE MODERNIZED TWO-SIDED END GRINDING MACHINE 3342ADO

Rolling bearing rollers are very important components of rolling bearings, the end surfaces of which are processed in mass and serial production on two-sided end grinding machines. They must be manufactured in accordance with the requirements of GOST 25255-82 "Rolling bearings. Rollers cylindrical long. Technical conditions" made of bearing steel ShKh 15 according to GOST 801-78. The end surfaces of the rollers of rolling bearings are subject to high requirements for the accuracy of dimensions, shape and quality of the end surfaces while ensuring high processing productivity. Therefore, it is very important to find new reserves of the process.

The analysis of research and publications showed the importance of the thermal effect and rotation of the workpieces in the processing zone during double-sided face grinding on the productivity, accuracy and quality of the processed end surfaces. This becomes even more important when grinding with crossed axes of wheels and workpieces, since a special profile adjustment of the wheel is carried out, which makes it possible to obtain an area for removing the rough allowance and a calibration area on the surface of the wheel. At the same time, the entire allowance is cut in the area adjacent to the calibration area. The calibration area at the entrance of the parts to the processing area does not participate in cutting the allowance, has high stability and forms the final accuracy of the end surfaces at the exit.

The purpose of the article is to conduct experimental studies of the temperature on the ends of the machined bearing rollers along the processing coordinate and the rotation of the machined rollers in the closed zone between two grinding wheels along the processing coordinate on a modernized end-grinding machine 3342 ADO.

The work proposed for the first time a new way of adjusting grinding wheels on a two-sided face grinding machine 3342 ADO, which made it possible to obtain a calibration area of grinding wheels of the correct geometric shape (without concavity). For this, the system of straightening of the basic face grinding machine 3342 ADO was modernized, which ensured the synchronization of the movements of the product feeding disc with the diamond pencil located on it for straightening the calibration area and the movement along the axis of the headstock of the rotating grinding wheel. All movements were controlled by the CNC system with a specially developed control program.

Key words: two-sided face grinding; grinding wheels; thermal stress of the grinding process; profiled and oriented grinding wheels; rolling bearing rollers; accuracy of end surface treatment of bearing rollers.

Fig.: 9. References: 8.

**Василь Приходько¹, Євгеній Пуховський², Людмила Данилова³,
Сергій Лапковський⁴, Сергій Сапон⁵**

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України (КПІ імені Ігоря Сікорського) (Київ, Україна)
E-mail: privas0718@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. ResearcherID: [HDM-7277-2022](https://orcid.org/0000-0003-1852-3777)

²доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України (КПІ імені Ігоря Сікорського) (м. Київ, Україна)
E-mail: puhovskije50@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7843-0922>. ResearcherID: [HDN-2044-2022](https://orcid.org/0000-0001-7843-0922)

³кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України (КПІ імені Ігоря Сікорського) (Київ, Україна)
E-mail: Danylova.liudmyla@iit.kpi.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-3959>. ResearcherID: [ADU-9265-2022](https://orcid.org/0000-0002-4442-3959)

⁴кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування
Національний технічний університет України (КПІ імені Ігоря Сікорського) (Київ, Україна)
E-mail: lapkovskysamsung@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. ResearcherID: [HCH-3837-2022](https://orcid.org/0000-0002-9870-9231)

⁵кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: s.sapon@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>
ResearcherID: [G-7764-2014](https://orcid.org/0000-0003-1082-6431)

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

На основі застосування матричного методу представлення структури розмірних зв'язків технологічних процесів і формалізації виконання основних процедур розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів (РМА ТП), розроблені алгоритми та програма «РМА ТП», їх використання забезпечує автоматизоване виконання найбільш складних та трудомістких процедур. Зокрема, використання матричного методу та розроблених алгоритмів і програми, дозволили вперше, на відміну від інших програм, реалізувати автоматизоване формування і розрахунок операційних розмірних ланцюгів, без побудови громіздких розмірних схем і без введення іншої інформації для їх побудови. Розглянуто приклад розмірного аналізу ТП із використанням програма «РМА ТП». Стаття є публікацією науково-методичного характеру.

Ключові слова: розмірне моделювання; розрахунок розмірних ланцюгів; автоматизація розмірного аналізу.
Рис.: 12. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів (РМА ТП) є одним з етапів проектування ТП, який має важливе значення для швидкого їх впровадження у виробництво та забезпечення необхідного рівня параметрів точності деталей при обробленні. Водночас на заводі широкого й ефективного використання РМА ТП стають складність і висока трудомісткість процедур, що призводить до значних витрат часу на його виконання. У зв'язку з чим актуальною є проблема створення програмних засобів для забезпечення автоматизації процедур РМА ТП, особливо найбільш складних, трудомістких. Це дозволить досягти скорочення термінів розмірного моделювання та аналізу ТП, зниження вимог до кваліфікації користувачів, що сприятиме широкому їх використанню у виробництві, а отже, поліпшенню якості розроблюваних технологічних процесів.

Постановка проблеми. Сучасне виробництво набуває техніко-організаційних форм багатомономенклатурного дрібносерійного виробництва. Разом з тим необхідно зауважити, що таке виробництво, за рахунок переважного застосування верстатів з ЧПУ та багатофункціональних верстатних систем на їх основі, потребує швидкого проектування та впровадження у виробництво операційних технологічних процесів виготовлення деталей. Розроблення таких ТП, є одним із важливих, але достатньо трудомістких етапів технологічного підготовки виробництва. Однією зі складових проектування ТП, від якої залежить рівень якості ТП, щодо забезпечення вимог до точності оброблюваних деталей, є розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів.

Метою розмірного моделювання та аналізу технологічних процесів є створення технологічних процесів, що надійно забезпечать задану точність конструкторських розмірів, при скороченні витрат часу і ресурсів на їх впровадження та реалізацію у виробництві, за рахунок знаходження оптимальних варіантів і усунення можливих помилок на етапі проєктування ТП, а не на етапі їх впровадження чи у процесі виробництва [1]. Досягнення поставленої мети забезпечується вирішенням двох основних задач:

1. Оцінка здатності запропонованого ТП забезпечити необхідну точність конструкторських розмірів (КР), а за необхідності, визначенням шляхів поліпшення ТП для досягнення заданої точності конструкторських розмірів.

2. Визначенням параметрів (номінальних значень, допусків і граничних відхилень) технологічних (операційних) розмірів, припусків та розмірів заготовок, необхідних для реалізації ТП у виробництві. Подальше отримання технологічних розмірів із дотриманням, визначених при проєктуванні параметрів точності у процесі виготовлення деталі повинно забезпечити задані кресленням вимоги точності конструкторських розмірів.

РМА ТП представляє собою сукупність розрахунково-аналітичних процедур, які виконуються на основі виявлення і розрахунку операційних розмірних ланцюгів.

При проведенні РМА ТП в «ручному» режимі чи з використання існуючих програм, виявлення та формування операційних розмірних ланцюгів здійснюється на основі графічного представлення, у вигляді матриць [2], графів [1] чи розмірних схем [3] та наступного аналізу структури розмірних зв'язків, що виникають у процесі перетворення заготовки в деталь. Представлення структури зв'язків, з подальшим візуальним виявленням на ній контурів операційних розмірних ланцюгів (ОРЛ), виконання їх розрахунку для визначення величин технологічних розмірів, їх допусків та інших розмірних параметрів є складною проблемою, вирішення якої характеризується високою трудомісткістю і потребує високої кваліфікації технологів. Також слід мати на увазі, що, у випадку незадовільної точності, технологічний процес буде коригуватись і це потребуватиме повторного виконання певних етапів РМА ТП. Залежно від складності конструкцій деталей витрати часу на виконання РМА ТП можуть становити від 20 до 60 годин на один ТП. Тому на виробництві значення параметрів технологічних розмірів здебільшого визначаються локально для операції або навіть установа, без урахування усіх зв'язків і впливу похибок попередніх етапів оброблення на точність одержуваних розмірів, які потрібно буде забезпечити на наступних етапах оброблення. Унаслідок такого підходу виникає необхідність уточнення параметрів технологічних розмірів і корегування ТП уже у ході виробництва, коли проявляється вплив не врахованих зв'язків, що приводить до додаткових витрат часу та інших ресурсів і в кінцевому випадку – до зростання вартості виробництва деталей і машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У теорії і практиці сучасного машинобудівного виробництва проблеми розмірного моделювання та аналізу конструкцій деталей, вузлів та інших складальних одиниць, що базуються на аналізі конструкторських розмірних ланцюгів, достатньо реалізовані в розробленому програмному забезпеченні для конструкторських робіт, зокрема в САД – системах, таких як «SolidWorks», «Catia», «ProEngineering», «Autodesk Inventor», «КОМПАС 3D v10», NX 7.5 та інших. Програмний комплекс SolidWorks реалізує виконання розмірного аналізу в 3D-моделях складальних одиниць з використанням спеціалізованих додатків TolAnalyst і CETOL 6 Sigma [5]. САПР Компас-3D має бібліотеку розрахунку РЛ, але вона дозволяє розв'язувати тільки обернену задачу і не придатна для розрахунку операційних розмірних ланцюгів (ОРЛ) [4]. У системі автоматизованого проєктування NX 7.5 є модуль Tolerance Stackup Validation, який проводить аналіз тривимірних розмірних ланцюгів і дозволяє отримати оцінку можливості складання вузлів [5]. Є багато інших систем, які орієнтовані на вирішення конструкторських, але не технологічних задач.

Автоматизація процедур РМА ТП у програмних продуктах, що забезпечують технологічну підготовку виробництва, в повному обсязі не вирішена. Так, наприклад, програмні продукти «MasterCAM», «TechnologiCS», САПР ТП «Вертикаль» та інші використовують у своїх алгоритмах типові технологічні процеси та так звані «комплексні деталі». Тобто вибір з набору типових операцій із вибором інструменту та корекцією режимів обробки, але їх можливості щодо кількісної оцінки точності розмірів, яка буде забезпечуватись розробленим ТП, є дуже обмеженими й мають допоміжний характер та зводяться, у кращому разі, до розрахунку, сформованих у ручному режимі, окремих розмірних ланцюгів.

Нині необхідно відзначити обмежену кількість спеціалізованих програмних продуктів для автоматизації відповідних процедур РМА технологічних процесів. Існує лише декілька програм, здатних виконувати той чи інший обсяг деяких задач автоматизації розмірного аналізу та моделювання ТП, зокрема це –«RTP 2000» [7], «GRAKON7» [8], модуль для розрахунку технологічних розмірних ланцюгів в КОМПАС-АВТОПРОЄКТ [9], загальним недоліком яких є значний обсяг дій, які необхідно виконувати в ручному режимі. Зокрема, в одній із найбільш досконалих програм «GRAKON7», розмірні схеми необхідні для виконання РМА будуються в ручному режимі, але на екрані комп'ютера, отже, трудомісткість практично не змінюється [10]. Недоліком є також можливість її застосування тільки у складі САД-системи AutoCAD 200x, що зменшує її ергономічність та обмежує використання. У КОМПАС-АВТОПРОЄКТ не потрібно будувати розмірні схеми, але велика трудомісткість залишається у зв'язку з необхідністю попередніх розрахунків і упорядкуванням числових та графічних даних, які потрібно готувати й надавати в ручному режимі для виконання розрахунків ОРЛ.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Приведений аналіз свідчить про те, що, не зважаючи на складність вирішуваних завдань розмірного моделювання, в САД – системах достатньо використовуються модулі чи програми для автоматизації розмірного моделювання та аналізу конструкцій деталей, вузлів і процесів їх складання, які розвиваються та вдосконалюються. Водночас він показав, що рівень програм для РМА ТП є низьким, знаходиться на початковому етапі розвитку. Використання таких програм, а також “ручних методів” при виконанні процедур РМА вимагає значних витрат часу та високого рівня знань теорії РМА ТП технологами, що стримує широке їх використання у виробництві, а отже потребує подальшого розвитку, зокрема в напрямку автоматизації. Вирішення цієї проблеми відкриє шлях до широкого використання РМА ТП у виробництві, і на основі цього для поліпшення якості розроблюваних ТП та скорочення термінів технологічного підготовки виробництва.

Це свідчить про актуальність, можливість і необхідність вирішення проблеми розроблення програм чи програмних модулів для інформаційного забезпечення РМА ТП.

Мета роботи. Створення алгоритмів та розроблення, на їх основі, програми для автоматизованого виконання основних процедур розмірного моделювання ТП, у тому числі найбільш трудомістких і складних, таких як формування і розрахунку операційних РЛ, та підвищення, за рахунок її використання, продуктивності РМА ТП, при зниженні рівня кваліфікаційних вимог до користувачів, у порівнянні з наявними програмами та “ручними” методами.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Основні теоретичні положення, що використовуються в алгоритмах і програмі.

Програма «РМА ТП», розроблена на кафедрі технології машинобудування в НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», реалізує алгоритм РМА ТП (рис. 1) [1], який передбачає поетапне виконання всіх процедур, починаючи з етапу введення даних і закінчуючи повним розрахунком ОРЛ та визначенням розмірних параметрів технологічних розмірів.

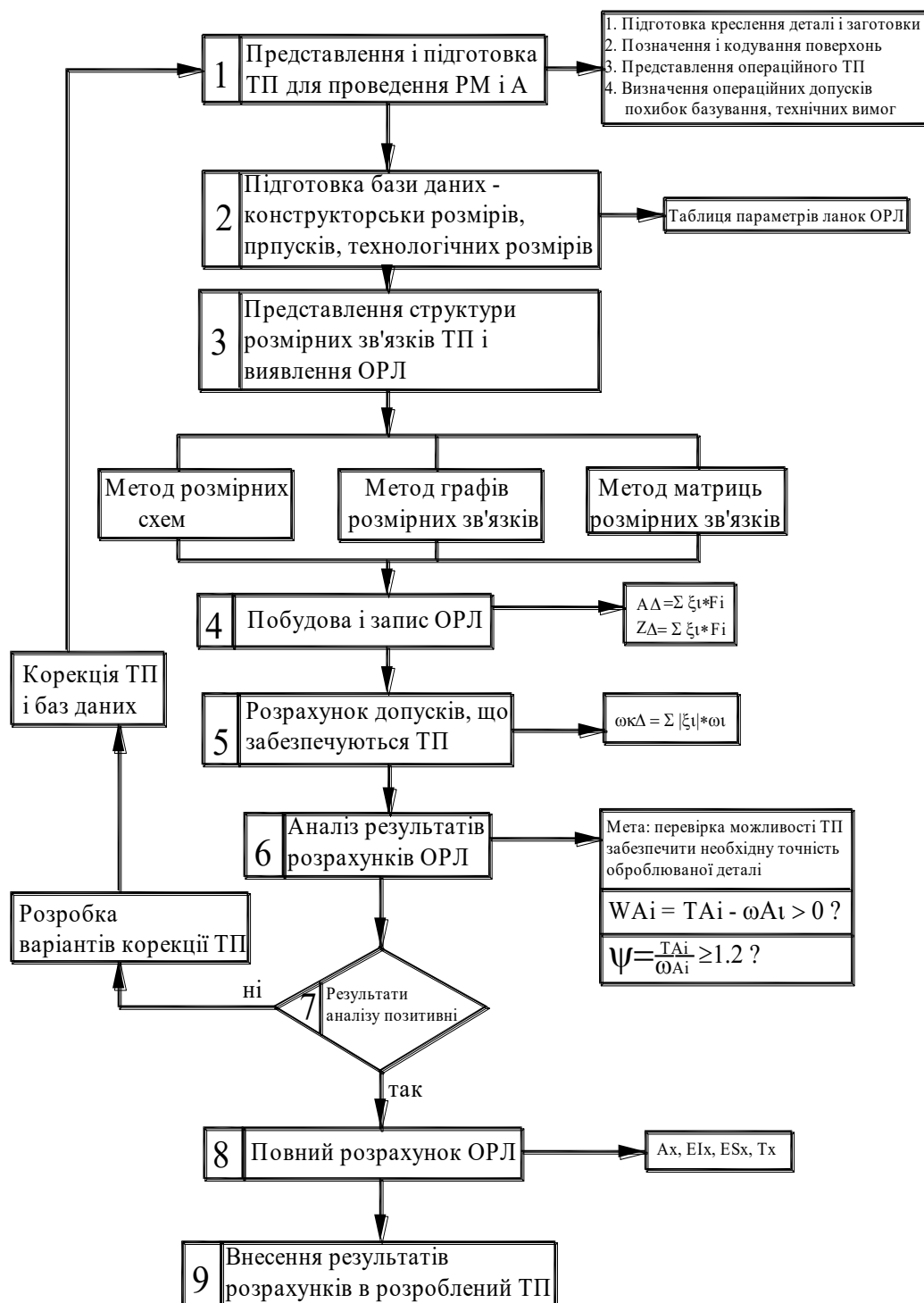


Рис. 1. Алгоритм виконання розмірного моделювання та аналізу ТП [1]

У програмі реалізовано понад 10 різних алгоритмів, що базуються і використовують ідеї та теоретичні положення, які забезпечують формалізацію та програмну реалізацію основних процедур РМА ТП. Основними новими ідеями, завдяки яким у програмі вирішені проблеми автоматизації формування і розрахунку ОРЛ, а також оцінки здатності технологічного процесу забезпечити задану точність конструкторських розмірів, зокрема є:

1) система кодування розмірів і поверхонь деталей та заготовок [1], що забезпечує ідентифікацію видів розмірів (конструкторські, технологічні, припуски) та ланок ОРЛ (замикаючі, складові (збільшуючі, зменшуючі)), а також використовується для формування і контролю ОРЛ;

2) оцінка прогнозованої точності технологічних розмірів із розрахунком та урахуванням похибок базування, на основі використання розмірних ланцюгів та взаємної компенсації похибок технологічних розмірів [1], які використовуються для створення і програмної реалізації алгоритму оцінювання прогнозованої точності технологічних і конструкторських розмірів.

Особливо важливим і принциповим для вирішення проблеми автоматизованого формування і розрахунку ОРЛ є реалізована в програмі ідея використання матричного методу представлення структури розмірних зв'язків ТП [2]. У програмі використовується матриця суміжностей, яка відображає модель розмірних зв'язків ТП. Вона формується програмою, на основі масивів даних – розмірів, припусків, поверхонь заготовки та деталі, без участі технолога та використовується для формування і розрахунку ОРЛ. Використання матриці та розроблених відповідних алгоритмів і програми, дозволили вперше, на відміну від інших програм, реалізувати автоматизоване формування ОРЛ, без побудови громіздких розмірних схем та без проведення допоміжних розрахунків і введення іншої додаткової інформації.

Технологічні можливості програми.

Отже, розроблена програма «РМА ТП» забезпечує автоматизоване виконання найбільш складних і трудомістких процедур, зокрема:

- 1) оцінювання прогнозованої точності технологічних розмірів;
- 2) представлення структури розмірних зв'язків ТП шляхом формування матриці та, на її основі, побудову й розрахунок операційних розмірних ланцюгів (розрахунок ОРЛ може виконуватись імовірнісним або методом повної взаємозамінності (максимуму-мінімуму);
- 3) оцінювання спроможності технологічного процесу забезпечити задану точність конструкторських розмірів та виявлення необхідності коригування ТП, у випадку незадовільної точності окремих КР;
- 4) розрахунок розмірних параметрів технологічних розмірів (номінальних величин, граничних відхилень та інших), забезпечення яких у процесі реалізації ТП гарантуватиме необхідну точність конструкторських розмірів;
- 5) крім параметрів ТР, визначаються розмірні параметри заготовок та припусків, які використовуються в технологічному підготовленні виробництва для представлення в технологічній документації та в процесах оброблення.

Використання програми «РМА ТП» дозволяє у 6-8 разів скоротити витрати часу на виконання РМА ТП, обмежити вимоги до кваліфікаційного рівня технологів знанням основ РМА ТП. Використання програми не потребує побудови громіздких розмірних схем, виконання допоміжних розрахунків та обмежується розробленням і представленням операційних ТП з використанням відповідної системи позначення поверхонь і розмірів. Перелічені переваги програми відкривають нові можливості до широкого використання РМА ТП у виробництві та поліпшення за рахунок цього якості розроблюваних ТП і скорочення витрат часу та ресурсів на їх впровадження.

Програма створена з використанням об'єктоорієнтованої мови програмування Object Pascal середовища програмування Borland Delphi та системи візуального програмування RAD Studio 2010. Її інтерфейс зрозумілий і доступний користувачам, зокрема технологам, забезпечує швидке опанування та зручне використання. Для візуальної спорідненості зовнішнього вигляду і його адаптації до оформлення Microsoft® Windows® XP, використано стандартний компонент Delphi (починаючи з версії 6) «XPmanifest». Вона використовує модулі зв'язку з Microsoft® Office Word та Microsoft® Office Excel для передачі даних, які потім легко можна переносити, редагувати або використовувати на комп'ютерах, де немає цієї розрахункової системи.

Основні алгоритми та структура програми «РМА ТП».

При розрахунку ОРЛ програма може розв'язувати задачі таких типів:

1) пряма (проектна) – у цьому випадку за відомими параметрами замикаючої ланки розраховуються невідомі параметри складових ланок, тобто відомі – параметри конструкторських розмірів або припусків, а визначаються параметри технологічних розмірів або розмірів заготовки;

2) змішаного типу – частково відомі параметри замикаючої ланки-припуску та складових ланок-технологічних розмірів (має місце при розрахунку ОРЛ із замикаючими ланками-припусками на механічну обробку).

Програма «РМА ТП» дозволяє організовувати введення вихідних даних, формування та розрахунок операційних розмірних ланцюгів, виведення результатів на екран у вигляді таблиці та в зовнішній файл. Вона також дозволяє контролювати правильність введення даних та формування розмірних ланцюгів для всіх замикаючих ланок. «РМА ТП» має декілька баз даних, у яких зберігається інформація про середню економічну точність оброблення на верстатах ω_{ek} , величини просторових відхилень вимірювальних баз РВБ, параметрів шорсткості R_z та величини дефектного шару, для різних методів оброблення. Програма передбачає 2 варіанти вибору методу розрахунку ОРЛ:

1) за умовчужанням - програма, згідно із власним алгоритмом, який враховує кількість ланок ОРЛ, співвідношення величин допусків, тип виробництва (закон розсіювання похибок), обирає один з двох методів – метод повної взаємозамінності (метод max-min) чи імовірнісний;

2) у ручному режимі технолог може самостійно, відповідно до власних міркувань, задати один із двох методів.

Структурна схема роботи програми «РМА ТП» наведена на рис. 2.

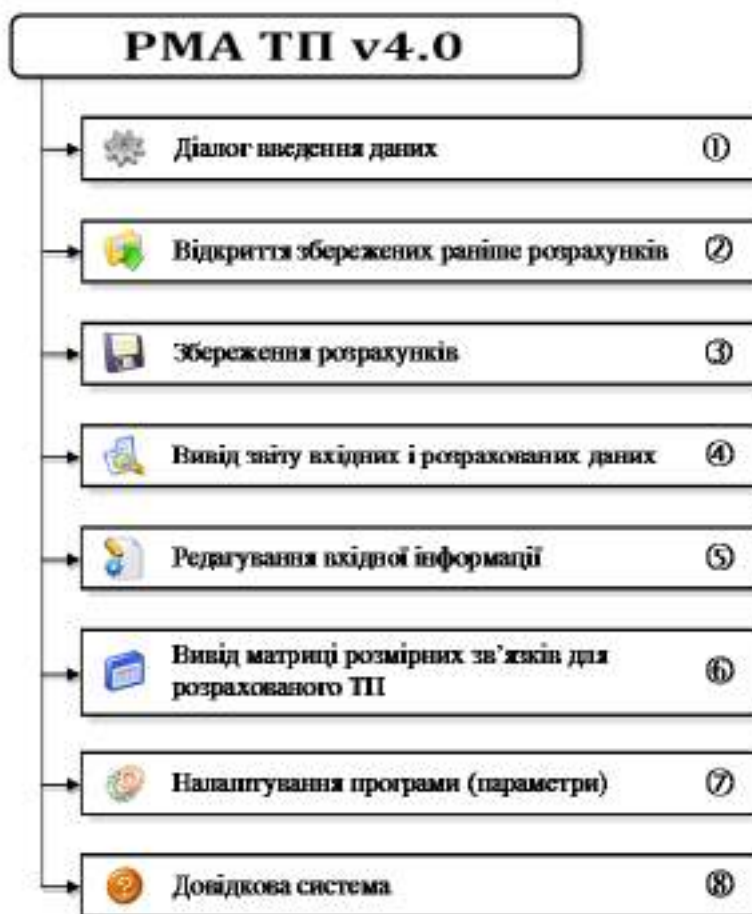


Рис. 2. Структурна схема роботи програми «РМА ТП»

Джерело: розроблено авторами.

Основні елементи структурної схеми (рис. 2):

1. *Діалог введення даних.* Введення інформації про поверхні, розміри, розмірні зв'язки у програмі відбувається в діалоговому режимі, виконується користувачем на основі креслення деталі та представленого операційного ТП її виготовлення. При такому режимі роботи управління процесом розв'язування задачі надається по чергово користувачу і комп'ютеру. У такому випадку використовується діалог типу «заповнення шаблону», який потрібен для введення форматованої інформації за вказаним на екрані шаблоном. При цьому курсор послідовно зупиняється в тих полях, куди потрібно вносити інформацію. Перевагами діалогового режиму є: підказки користувачу яку інформацію він має ввести, розподілення інформації за тими чи іншими критеріями між різними вікнами. Отже, такий режим забезпечує досить високу продуктивність роботи користувача та програми, знімає з користувача навантаження від розподілення вхідної інформації за видами, ознаками, критеріями та ін. У цій програмі діалог розроблений таким чином, що він може повертатись назад для перевірки чи корекції інформації, введеної на попередньому етапі, також є багато підказок користувачу про значення тих чи інших параметрів, які він має визначити.

Структура діалогу «РМА ТП» передбачає уведення інформації про поверхні, розміри та іншої інформації та формування, з використанням відповідних алгоритмів, масивів даних, які, у свою чергу, використовуються для формування матриці розмірних зв'язків та виконання інших процедур (рис. 3).

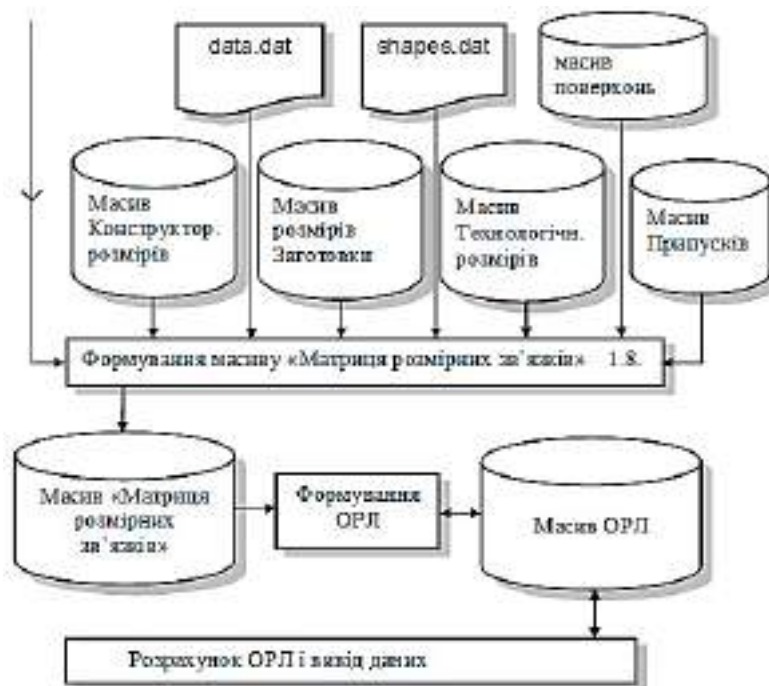


Рис. 3. Фрагмент діаграми роботи діалогу введення даних та програми загалом
Джерело: розроблено авторами.

2. *Відкриття збережених раніше розрахунків.* Функція, яка за вимогою користувача виконує зчитування інформації з файлів розмірного моделювання та аналізу ТП (формат *.gma) для подальшого закінчення введення даних, розрахунку, корекції або формування звіту.

3. *Збереження розрахунків.* Функція, яка за вимогою користувача виконує збереження інформації з масивів вхідних даних у файли розмірного моделювання та аналізу ТП (формат *.gma) для використання в майбутньому.

4. *Вивід звіту вхідних і розрахованих даних.* Функція, яка виводить на екран для редагування, збереження або друку звіту що формується з масивів поверхонь, конструкторських розмірів, розмірів заготовок, технологічних розмірів, припусків та операційно-розмірних ланцюгів (ОРЛ).

5. *Редагування вхідної інформації.* Дозволяє користувачу викликати окремі етапи діалогу введення даних для її корекції, повторного розрахунку з урахуванням цієї інформації. Необхідно зазначити, що при цьому програма автоматично виводить всю введену раніше інформацію з відповідних масивів.

6. *Вивід матриці розмірних зв'язків для розрахованого ТП.* Функція, яка, використовуючи масив «Матриця розмірних зв'язків», за потреби, виводить інформацію про розмірні зв'язки усього ТП в обраному координатному напрямі. Є можливість подальшого її збереження.

Види вікон програми, які використовуються для введення інформації про поверхні, розміри та інші будуть надані нижче у прикладі.

У результаті роботи програми формується підсумкова таблиця, у якій будуть представлені такі дані:

- Позначення розміру (A1, A2, F1, F3, B1, B4, Z1.1, Z2.1* і т. п.);
- Код розміру (1.9 – 2.9, 1.2f – 3.1, 1.0 – 4.0 і т.п.);
- Номінальна величина розміру;
- Середнє значення розміру;
- Мінімальна величина розміру;
- Максимальна величина розміру;
- Допуск на конструкторський розмір T_i ;
- Верхнє відхилення ES_i ;
- Нижнє відхилення EI_i ;
- Середнє відхилення E_{mi} ;
- Прогнозна величина поля розсіювання технологічного розміру ωF_i ;
- Довідково для кожного технологічного розміру надаються величини: полів розсіювання $\omega_{ек}$, що характеризують середню економічну точність відповідного способу оброблення поверхні; похибок базування ε_B ; просторових відхилень вимірювальної бази $r_{вб}$, які приймалися при прогнозуванні величин полів розсіювання ωF_i .

- Коефіцієнт запасу точності ψA_i та висновок щодо забезпечення точності кожного з конструкторських розмірів.

При розрахунку ОРЛ для визначення розмірних параметрів технологічних розмірів використовувався спосіб середніх розмірів і такі основні залежності:

$$A_{mi} = A_{mini} + \frac{\omega_{Ai}}{2}; A_{mi} = A_{maxi} - \frac{\omega_{Ai}}{2}; A_{mi} = \frac{A_{mini} + A_{maxi}}{2}; F_{mx} = (A_{mi} - \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \cdot F_{mi}) \cdot \frac{1}{\xi_x};$$

$$F_x = F_{mx} + \frac{\omega_{Fx}}{2} - ES_{Fx}; F_{xmax} = F_{mx} + \frac{\omega_{Fx}}{2}; F_{xmin} = F_{mx} - \frac{\omega_{Fx}}{2},$$

- де A_{mi} – середнє значення замикаючої ланки-конструкторського розміру;
 A_{maxi}, A_{mini} – відповідно максимальне і мінімальне значення складової ланки (СЛ);
 ω_{Ai}, ω_{Fx} – відповідно величини полів розсіювання замикаючої та невідомої СЛ;
 F_{mx} – середнє значення невідомої СЛ технологічного розміру;
 F_{mi} – номінальне значення і-го технологічного розміру;
 F_x – номінальне значення невідомого технологічного розміру;
 F_{xmax}, F_{xmin} – відповідно максимальне та мінімальне значення технологічного розміру;
 ξ_i – передавальне відношення СЛ;
 n – кількість складових ланок ОРЛ.

При розрахунку ОРЛ із замикаючими ланками припусками використовувались такі залежності:

$$Z_m = Z_{\min} + \frac{\omega_Z}{2}; F_{mx} = (Z_{mi} - \sum_{i=1}^{n-1} \xi_i \cdot F_{mi}) \cdot \frac{1}{\xi_x}; [Z_i] = \sum_{i=1}^n \xi_i \cdot F_i;$$

$$Z_{i\max} = Z_{i\min} + \omega_{Z_i}; ES_{Z_i} = Z_{i\max} - Z_i; EI_{Z_i} = Z_{i\min} - Z_i,$$

де Z_m – середнє значення припуску;

Z_i – номінальне значення припуску;

Z_{\max}, Z_{\min} – відповідно максимальне та мінімальне значення припуску;

ω_Z – величина поля розсіювання припуску;

Опис інтерфейсу програми.

Головне вікно програми (рис. 4) призначене для запуску діалогів введення, редагування та виводу даних, а також параметрів та довідки.

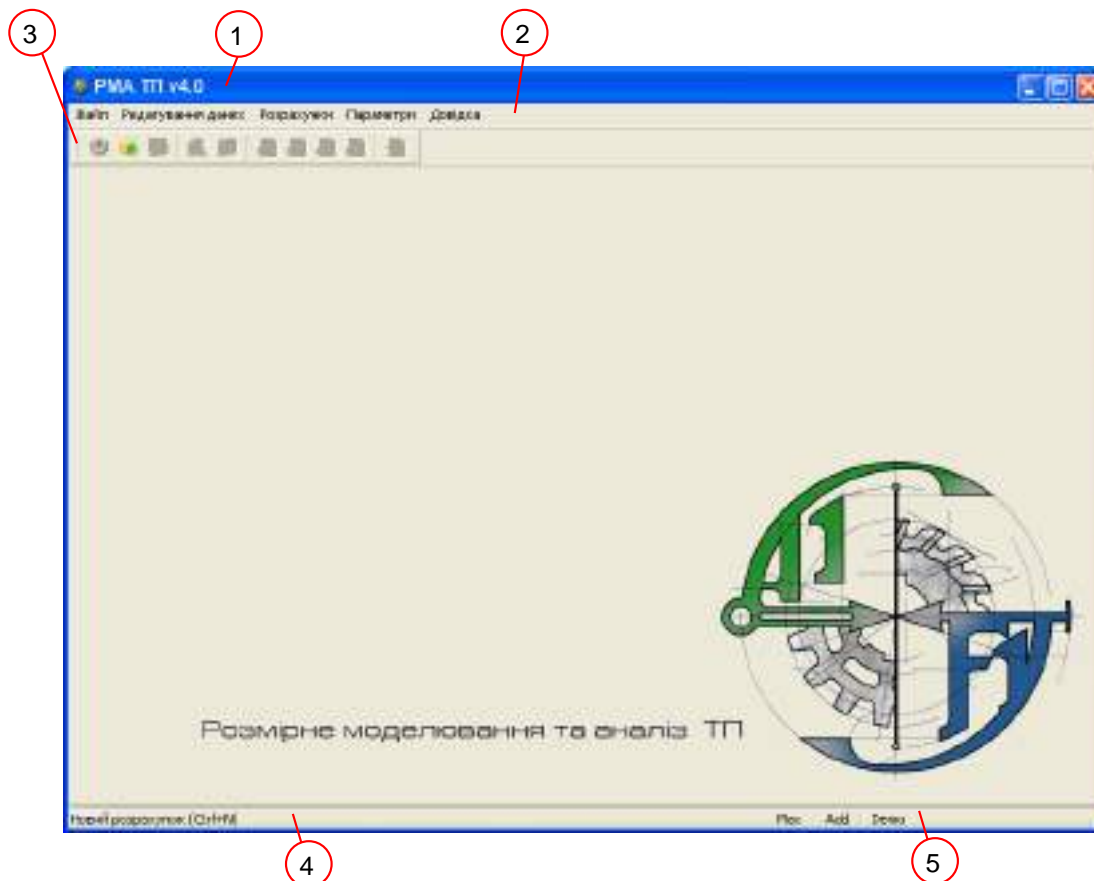


Рис. 4. Головне вікно програми

Джерело: розроблено авторами.

Головне вікно програми містить такі елементи:

1. Панель заголовку – виводить назву програми та назву деталі, що розрахована в цей момент (наприклад, «PMA TP – Вісь»).
2. Головне меню програми (рис. 5).
3. Панель швидкого доступу (рис. 6). Кнопки панелі швидкого доступу стають активними після виконання всіх розрахунків і використовуються користувачем для практичної реалізації прийнятих рішень.
4. Панель підказок до задач – виводиться інформація про призначення елементів програми.
5. Панель параметрів – виводить інформацію про обрані режими роботи програми.

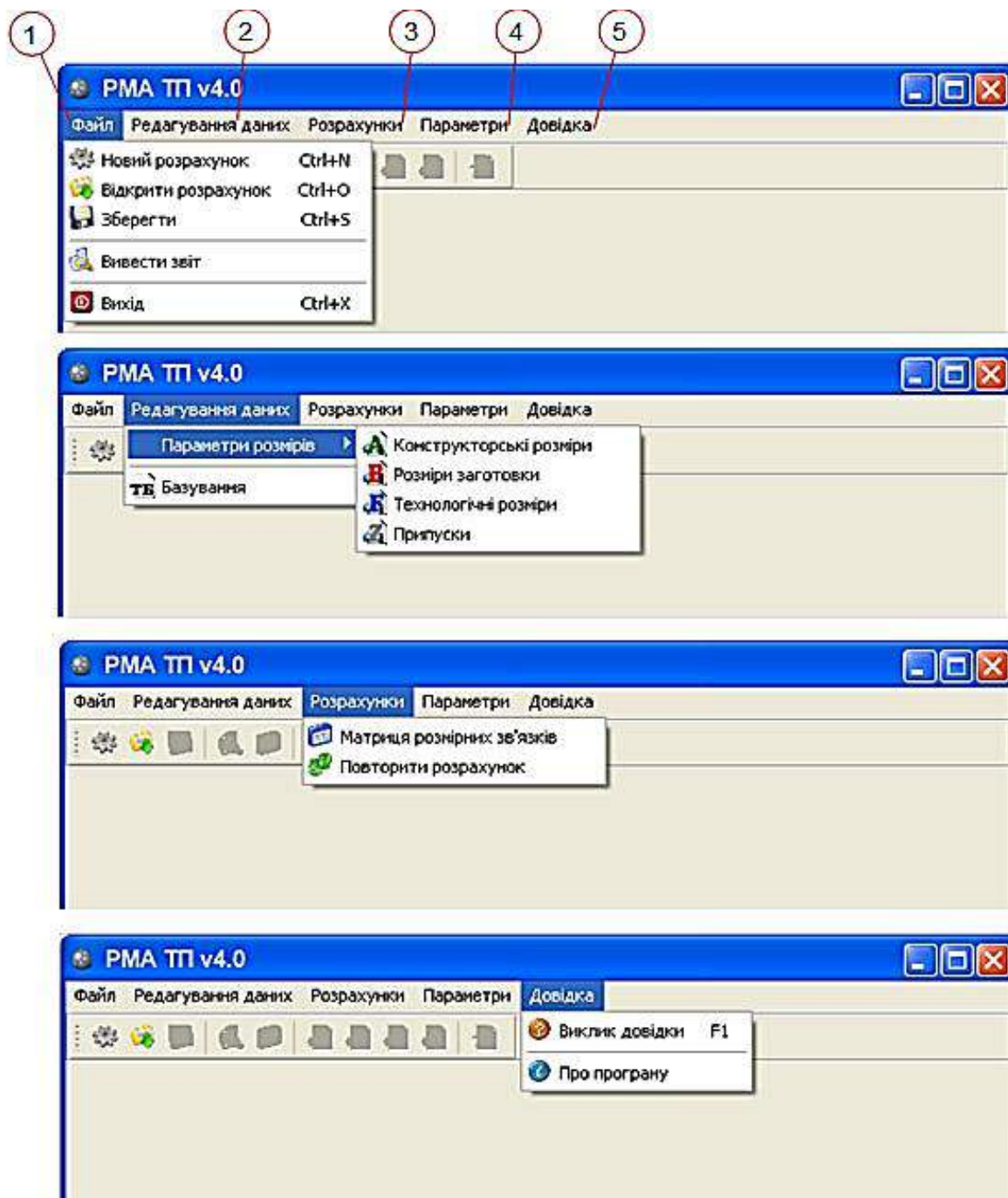


Рис. 5. Головне меню програми «PMA TP»

Джерело: розроблено авторами.



Рис. 6. Панель швидкого доступу

Джерело: розроблено авторами.

Панель параметрів (рис. 7) відображає:

1. Індикатор обраного методу розрахунку операційних розмірних ланцюгів (ОРЛ), який може приймати значення:

- “Max” – метод Максимуму-мінімуму;
- “Im” – Імовірнісний метод;
- “PRG” – метод обирається програмою;

2. Індикатор увімкнення/вимкнення відображення додаткових даних, призначений передусім для перевірки зберігання інформації при вводі даних. Може приймати значення “Add” (увімкнено) та пусте поле (вимкнено);

3. Індикатор, що символізує увімкнення/вимкнення демонстраційного режиму роботи. Може приймати значення “Demo” (увімкнено) та пусте поле (вимкнено).

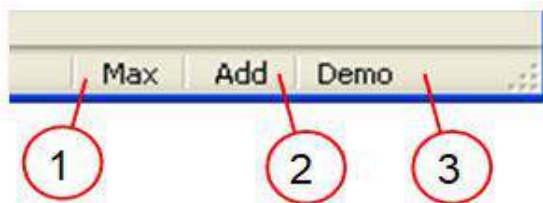


Рис. 7. Панель швидкого доступу

Джерело: розроблено авторами.

Для спрощення роботи можна користуватися панеллю швидкого доступу (рис. 6), яка має необхідні кнопки для виконання основних операцій. За піктограмами на панелі, які відповідають піктограмам у головному меню або за підказками до кнопок можна легко визначити для чого вони призначені.


Виконання розмірного моделювання та аналізу ТП з використанням програми.


Для виконання РМА ТП з використанням програми, необхідно мати розроблений і представлений, у вигляді операційних ескізів, операційний ТП. Представлення операційних ескізів загалом відповідає загальноприйнятим правилам, але особливістю є система позначення (кодування) поверхонь і розмірів [1], що показано нижче на прикладі ТП (рис. 8).

Операція	Операційний ескіз	Розмір, допуск і технічні вимоги, мм
000 Заготівельна		
005. Токарна з ЧПК		$F1(\omega_{F1} = \omega_{ек} + \Delta\epsilon_y + \Delta\rho_{ТБ})$ $F2(\omega_{F2} = \omega_{ек})$ $C3(\omega_{c3} = \omega_{ек})$ $C4(\omega_{c4} = \omega_{ек})$
010 Токарна з ЧПК		$F5(\omega_{F5} = \omega_{ек} + \Delta\rho_{ТБ})$ $C6(\omega_{c6} = \omega_{ек})$

Рис. 8. Приклад представлення фрагменту технологічного процесу оброблення деталі “Вісь”

Джерело: розроблено авторами.

Для представлення роботи програми “РМА ТП” нижче розглянуто приклад розмірного моделювання та аналізу ТП виготовлення деталі «Вісь» (рис. 8) з поясненнями особливостей користування програмою. Для початку роботи з програмою потрібно натиснути пункт меню «Файл – Новий розрахунок», або кнопку .

Після проведення однієї з цих операцій на екрані з’явиться перше вікно діалогу – «Новий розрахунок» (рис. 9). Це вікно введення даних, а також наступні вікна - для конструкторських, технологічних розмірів (рис. 10), припусків та інші представляють собою форми для заповнення, у відповідні поля яких необхідно внести, визначені кожною формою, дані. Після введення у формі всієї інформації, необхідно натиснути кнопку «Далі 

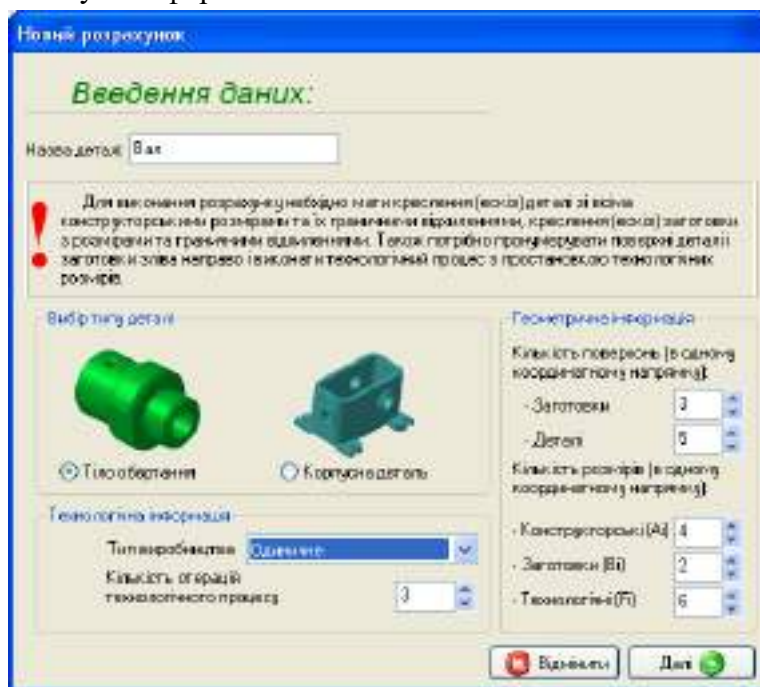


Рис. 9. Вікно початку введення даних – «Новий розрахунок»

Джерело: розроблено авторами.

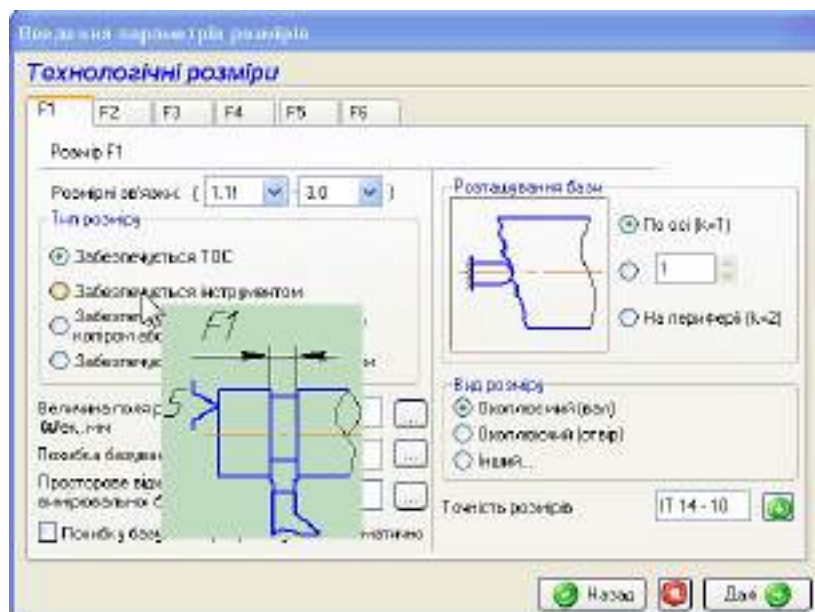


Рис. 10. Вікно введення параметрів ТР з демонстрацією однієї з підказок до вибору типу ТР (залежно від схеми його формування)

Джерело: розроблено авторами.

Для покращення розуміння програми і полегшення заповнення тих чи інших вікон передбачені підказки у спливаючих вікнах (рис. 10) та можливість використання відповідних баз даних.

Наприклад, у вікні технологічних розмірів, величину поля розсіювання ($\omega_{ек}$), похибку базування (ϵ_6), просторове відхилення вимірювальної бази ($\rho_{вб}$), значення мінімальних припусків тощо можна вводити з клавіатури, але також є можливість скористатися відповідними базами даних.

Між закладками, з позначеннями розмірів, перемиканням можна вільно переходити від однієї поверхні до іншої. За такими схемами, користуючись відповідними вікнами (рис. 10), у діалоговому режимі послідовно вводиться інформація про конструкторські, технологічні розміри, розміри заготовки та припуски з урахуванням їхніх особливостей.

Заповнення форм завершується введенням інформації про технологічну базу в цьому координатному напрямі.

Після завершення діалогового режиму введення вхідної інформації і підтвердження цього, натисканням кнопки «Завершити», подальші етапи РМА ТП виконуються в автоматичному режимі. Зокрема, на основі введеної інформації, із застосуванням відповідних алгоритмів, програмою будуються масиви даних, наприклад конструкторських, технологічних розмірів, припусків, які використовуються для формування матриці розмірних зв'язків ТП.

У програмі «РМА ТП», для відображення в аналітичному вигляді структури (моделі) розмірних зв'язків ТП оброблення заготовки, запропоновано використання матриці суміжностей, на основі якої за допомогою спеціального алгоритму та його програмної реалізації, на відміну від інших програм, вирішені задачі автоматизованого формування і розрахунку операційних розмірних ланцюгів (ОРЛ). За результатами розрахунків ОРЛ виконується перевірка здатності технологічного процесу забезпечити задану точність конструкторських розмірів та розрахунок розмірних параметрів технологічних розмірів, припусків, розмірів заготовки.

Після виконання усіх процедур і розрахунків у головному вікні програми (рис. 11) демонструються результати (дві таблиці):

1. Список сформованих операційних розмірних ланцюгів (ОРЛ).
2. Результати розмірного моделювання.

№	Операційні розмірні ланцюги	Запис ОРЛ в кодзв'язковій формі	Рівняння полів розсіювання
1	[A1] = +F6	[1.9-2.9] = +(1.1f-2.2f)	[$\omega A1$] = $\omega F6$
2	[A2] = -F6 +F3 +F4	[2.9-3a.9] = -(2.2f-1.1f) +(1.1f-2.1) +(2.1-3a.1f)	[$\omega A2$] = $\omega F6 - 2^*k^*\omega F6 + \omega F3 + \omega F4$
3	[A3] = +F3 +F2	[1.9-5.9] = +(1.1f-2.1) +(2.1-5.1f)	[$\omega A3$] = $\omega F3 + \omega F2$
4	[A4] = +F5	[3a.9-4.9] = +(3a.1f-4.1f)	[$\omega A4$] = $\omega F5$
5	[Z1.1] = +F1 -F3	[1.0-1.1f] = +(1.0-2.1) -(2.1-1.1f)	[$\omega Z1.1$] = $\omega F1 + \omega F3$
6	[Z2.1*] = -F1 +B1	[2.1-2.0] = -(2.1-1.0) +(1.0-2.0)	[$\omega Z2.1^*$] = $\omega F1 - 2^*k^*\omega F1 + \omega B1$
7	[Z2.2*] = -F6 +F3	[2.2f-2.1] = -(2.2f-1.1f) +(1.1f-2.1)	[$\omega Z2.2^*$] = $\omega F6 + \omega F3$
8	[Z5.1*] = -F2 -F1 +B2	[5.1f-5.0] = -(5.1f-2.1) -(2.1-1.0) +(1.0-5.0)	[$\omega Z5.1^*$] = $\omega F2 + \omega F1 - 2^*k^*\omega F1 + \omega B2$


№	Познач.	Допуск, мм	ES, мм	EI, мм	Eп, мм	ω, мм	ωк, мм	раб, мм	зб, мм	φ	Примітки
1	A1	0,2	0	-0,2	-0,1	0,14	-	-	-	1,39	точність забезпечується
2	A2	0,3	0,15	-0,15	0	0,43	-	-	-	0,7	точність не забезпечується
3	A3	0,4	0	-0,4	-0,2	0,4	-	-	-	1	точність не забезпечується
4	A4	0,045	0,045	0	0,0225	0,1	-	-	-	0,45	точність не забезпечується

Рис. 11. Вигляд головного вікна програми «РМА ТП» з результатами розмірного моделювання

Джерело: розроблено авторами.

У першій таблиці приводяться рівняння ОРЛ, записані у 2-х формах- із позначенням розмірів літерами та в кодовій формі. Друга таблиця («Результати розмірного моделювання») показує всі розраховані та введені параметри усіх розмірів – конструкторських, технологічних, розмірів заготовок та припусків. Для більшої зручності колонки «№» (порядковий номер) та «Познач.» (позначення розміру) зафіксовані. В останній колонці: «Примітки», тільки для конструкторських розмірів, надається коментар про те чи забезпечується даним ТП точність відповідного конструкторського розміру.

На цьому етапі користувач (технолог) оцінює отримані результати розмірного моделювання та ухвалює рішення про прийнятність ТП або про необхідність його корегування. Для практичної реалізації прийнятих рішень користувачу стають доступними кнопки панелі швидкого доступу (див. рис. 6), які до цього були не активними.

Для виведення звіту в текстовому режимі, його редагування, збереження результатів розрахунків у «.txt» або «.doc» та друку необхідно скористатись відповідною кнопкою «», яка викликає вікно виводу (рис. 12).

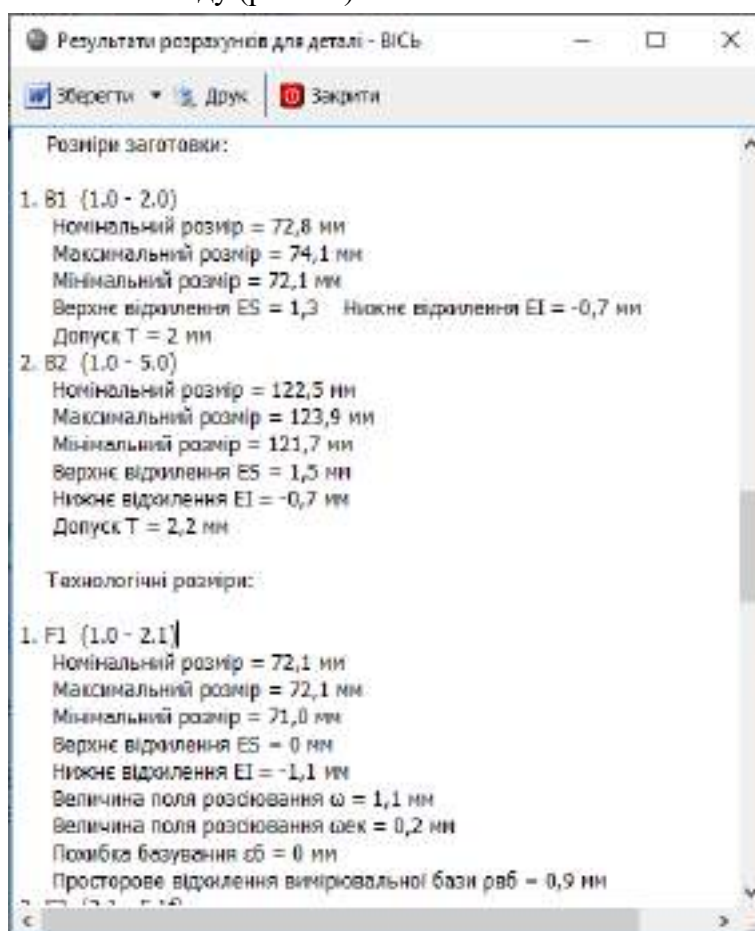



Рис. 12. Приклад фрагменту вікна виводу звіту результатів розрахунку

Джерело: розроблено авторами.

Якщо результати розмірного аналізу є задовільними і ТП є прийнятним для виробництва, виводиться звіт про результати аналізу із розрахованими розмірними параметрами для усіх розмірів (фрагменти звіту показано на рис. 11, 12), які будуть використані при оформленні відповідних форм технологічної документації, наприклад операційних ТП, а також при розрахунках режимів різання, верстатних пристроїв та в інших цілях.

У звіті (рис. 12) в розгорнутому вигляді надаються розмірні параметри усіх конструкторських розмірів (A_i), технологічних розмірів F_i , розмірів заготовок (B_i) та припусків (Z_i), аналогічно, представленим у вікні на рис. 11. При незадовільних результатах аналізу

та необхідності виконання корегування ТП, використовуються кнопки на панелі швидкого доступу (див. рис. 6), за допомогою яких можна входити у вікна усіх розмірів (конструкторських, технологічних, заготовок, припусків), поверхонь та інші, аналізувати інформацію і вносити корективи.

Після внесення корективів використовується функція примусового повторного розрахунку «».

Для виходу з програми треба скористатись кнопкою закриття головного вікна або вибрати пункт головного меню «Файл → Вихід».

Висновки.

1. У роботі, на основі представлення структури розмірних зв'язків технологічного процесу оброблення заготовки з використанням матриці суміжностей, розроблено спеціальний алгоритм і програму «РМА ТП», які, на відміну від інших програм, вперше вирішили задачу автоматизованого формування і розрахунку ОРЛ.

2. На основі формалізації виконання основних процедур РМА ТП, їх алгоритмічної та програмної реалізації програма «РМА ТП» забезпечує:

- реалізацію загального алгоритму РМА ТП з виконанням найбільш складних та трудомістких процедур формування і розрахунку ОРЛ в автоматичному режимі з наданням висновків щодо забезпечення заданої точності конструкторських розмірів, а також розмірних параметрів конструкторських, технологічних розмірів і припусків;

- скорочення витрат часу на виконання РМА ТП у 8-10 разів, у порівнянні з “ручними” методами, що у сукупності із зручним інтерфейсом користувача, який вимагає знання тільки основ методології РМА і є зрозумілим та доступним, для його використання технологіями, відкриває шлях до широкого застосування РМА ТП при проектуванні та впровадженні нових ТП у виробництві;

- програма «РМА ТП» використовує інформацію взятую з креслення деталі та операційних ескізів і, на відміну від інших програм, не потребує побудови спеціальних розмірних схем чи графів, вона може використовуватись самостійно, як окремий модуль, а також як елемент САПР технологічних процесів.

Список використаних джерел

1. Приходько В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько. – Електронні текстові дані (1 файл: pdf.-15.2 Мбайт). – К. : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>.

2. Приходько В. П. Використання матриць для представлення структури технологічних процесів при розмірному моделюванні і аналізі / В. П. Приходько // Праці міжнародної науково-технічної конференції „Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта”. – К. : НТУУ, 1998. – Т. II. – С. 139-145.

3. Рудь В. Д. Розмірно-точнісний аналіз конструкцій та технологій : навч. посіб. / В. Д. Рудь, О. О. Герасимчук, Т. П. Маркова. – Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2008. – 344 с.

4. Шаломеєнко М. А. Размерный анализ в SolidWorks / М. А. Шаломеєнко // САПР и графика. – 2010. – № 10. – С. 40-42.

5. САПР Компас-3D. Расчет размерных цепей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cadregion.ru/kompas-3d/sapr-kompas-3d-raschet-razmernyx-cepj.html>.

6. NX Tolerance Stackup Validation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://plmclub.ru/modules/nx-tolerance-stackup-validation>.

7. Белашов В. А. Размерный анализ технологий в редакторе технологических процессов РТП2000: Учебно-методическое пособие / В. А. Белашов, А. В. Белашов., М. В. Белашов. – Пенза : Пензенский гос. университет, 2008. – 49 с.

8. Калачев О. Н. Интерактивное моделирование размерных изменений заготовки при проектировании технологического процесса механической обработки / О. Н. Калачев // Информационные технологии. – 2011. – № 2. – С. 10-14.

9. Хармац И. КОМПАС-АВТОПРОЕКТ: точный контроль над технологической информацией. Новые модули и новые возможности системы / И. Хармац // САПР и графика. – 2014. – Июнь. – С. 17-19.

10. Масягин В. Б. Проблемы технологического размерного анализа Текст. / В. Б. Масягин // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. – Брянск, 2006. – Вып. 6. – С. 48-51.

References

1. Prykhodko, V.P. (2021). Rozmirne modeliuвання ta analiz tekhnolohichnykh protsesiv: navchalnyi posibnyk dlia studentiv spetsialnosti 131 «Prykladna mekhanika» [Dimensional modeling and analysis of technological processes: study guide for students of specialty 131 "Applied mechanics"]. KPI im. Ihoria Sikorskoho. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/38826>.

2. Prykhodko, V.P. (1998). Vykorystannia matryts dlia predstavlennia struktury tekhnolohichnykh protsesiv pry rozmirnomu modeliuванні i analizi [The use of matrices to represent the structure of technological processes in dimensional modeling and analysis]. *Pratsi mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii „Prohresyuna tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita” – Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Progressive Technology, Technology and Engineering Education", II*, 139-145.

3. Rud, V.D., Herasymchuk, O.O., & Markova, T.P. (2008). *Rozmirno-tochnistnyi analiz konstruksii ta tekhnolohii [Razmirno-accuracy analysis of constructions and technologies]*. RVV LDTU.

4. Shalomeenko, M.A. (2010). Razmernyi analiz v SolidWorks [Dimensional analysis in SolidWorks]. *SAPR y hrifyka – CAD and graphics*, 10, 40-42.

5. SAPR Kompas-3D. Raschet razmernykh tsepei [CAD Compass-3D. Calculation of dimensional chains]. <http://cadregion.ru/kompas-3d/sapr-kompas-3d-raschet-razmernyx-cepej.html>.

6. NX Tolerance Stackup Validation. <http://plmclub.ru/modules/nx-tolerance-stackup-validation>.

7. Belashov, V.A., Belashov, A.V., Belashov, M.V. (2008). *Razmernyi analiz tekhnologii v redaktore tekhnolohicheskyykh protsessov RTP2000 [Dimensional analysis of technologies in the editor of technological processes RTP2000]*. Penzenskiy gos. universitet.

8. Kalachev, O.N. (2011). Interaktivnoe modelirovanie razmernykh izmenenii zagotovki pri proektirovanii tekhnologicheskogo protsessa mekhanycheskoi obrabotki [Interactive modeling of dimensional changes in the workpiece in the design of the technological process of machining]. *Informatsionnye tekhnologii – Information technologies*, (2), 10-14.9.

9. Kharmats, Y. (2014). KOMPAS-AVTOPROEKT: tochnyi kontrol nad tekhnologicheskoi informatsiei. Novye moduli i novye vozmozhnosti sistemy [KOMPAS-AUTOPROEKT: precise control over technological information. New modules and new system capabilities]. *SAPR y hrifyka – CAD and graphics*, 17-19.

10. Masiahyn, V.B. (2006). Problemy tekhnologicheskogo razmernogo analiza Tekst [Problems of technological dimensional analysis]. *Novye materialy i tekhnologii v mashynostroenii – New materials and technologies in mechanical engineering*, 6, 48-51.

Отримано 28.09.2022

UDC 621.757:621.793

**Vasyl Prykhodko¹, Evgen Pukhovskiy², Liudmyla Danylova³,
Serhii Lapkovskiy⁴, Serhii Sapon⁵**

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: privas0718@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1852-3777>. ResearcherID: [HDM-7277-2022](https://orcid.org/HDM-7277-2022)

²Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: puhovskije50@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7843-0922>. ResearcherID: [HDN-2044-2022](https://orcid.org/HDN-2044-2022)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: Danylova.liudmyla@iit.kpi.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4442-3959>. ResearcherID: [ADU-9265-2022](https://orcid.org/ADU-9265-2022)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor Department of Manufacturing Engineering
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)
E-mail: lapkovskysamsung@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9870-9231>. ResearcherID: [HCH-3837-2022](https://orcid.org/HCH-3837-2022)

⁵PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering and Wood Technology
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)
E-mail: s.sapon@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>
ResearcherID: [G-7764-2014](https://orcid.org/G-7764-2014)

INFORMATION SUPPORT OF DIMENSIONAL MODELING AND ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

Dimensional modeling and analysis (DMA) of TP is one of the stages of designing technological processes (TP), which is important for their rapid introduction into production and ensuring the necessary level of accuracy parameters of parts. The task of reducing the terms of DMA TP is urgent due to the need to reduce the terms of technological preparation of production, the time and resources spent on the implementation of TP. Solving such a problem requires the creation of appropriate programs that would ensure the automation of DMA TP procedures and reduce the requirements for user qualifications. At the same time, the level of existing programs or individual modules for dimensional modeling and analysis of technological processes is insufficient, requires significant amounts of preparatory work and does not provide an acceptable level of time reduction and requires high qualification of users. This indicates the need for further development of programs, in particular in the direction of automation of procedures.

Creation of algorithms and development of a program, based on them, for the automated execution of the main procedures of dimensional modeling of TP, including the most time-consuming and complex ones, such as the formation and calculation of operational dimensional chains, and increasing, due to its use, the productivity of DMA TP, while reducing the level of qualification requirements for users, in comparison with existing programs and "manual" methods.

The program implements more than 10 different algorithms that are based on and use ideas and theoretical propositions that provide formalization and programmatic implementation of the main procedures of DMA TP. The main new ideas, thanks to which the program solves the problem of automating the formation and calculation of dimensional chains, in particular, are a system for coding the sizes and surfaces of parts and workpieces, which provides identification of the types of dimensions and links of operational dimensional chains, and is also used for the formation and control of dimensional chains; calculation of basing errors using dimensional chains and taking into account the mutual compensation of errors of technological dimensions, which are used for the creation and software implementation of the algorithm for estimating the predictive accuracy of technological and design dimensions; presentation of the structure of dimensional relationships of TP with the help of matrices, which ensures the automated formation of operational dimensional chains; as well as a number of other tasks necessary for the implementation of the general algorithm of DMA TP.

Algorithms and the "RMA TP" program were developed for their implementation based on the formalization of the main procedures of DMA TP, which ensures: 1) automated execution of the most complex and time-consuming dimensional modeling procedures with the provision of information on ensuring the TP of the specified accuracy of design dimensions, as well as the calculated values of dimensional parameters of design, technological dimensions and allowances; 2) a significant reduction in time spent on dimensional modeling and analysis of technological processes, which, in combination with a convenient user interface, paves the way for widespread use of DMA TP in the design and implementation of technological processes in production.

Using the program allows you to reduce the time spent on dimensional modeling and analysis of technological processes by 8-10 times, compared to "manual" methods, while reducing the level of qualification requirements for users. This opens up new opportunities for wide use of DMA TP in production, and therefore for improving the quality of developed TP and shortening the terms of technological preparation of production. The program can be used as an independent module, as well as a CAD element of technological processes.

The article is a publication of scientific and methodical character.

Keywords: *dimensional modeling; calculation of dimensional chains; automation of dimensional analysis.*

Fig.: 12. References: 10.

РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-94-101

УДК 004.658:004.4'41:004.82

Ірина Білоус¹, Дмитро Петренко², Олег Єрмоленко³

¹кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: iryna.bilous.it@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5887-1955>. ResearcherID: [V-7697-2017](https://orcid.org/V-7697-2017)

²аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: dino96gr@gmail.com

³магістрант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: vermolenkooleg2@gmail.com

РОЗРОБКА ТА СУПРОВОДЖЕННЯ СИСТЕМ ІЗ РОЗПОДІЛЕНИМИ БАЗАМИ ДАНИХ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЙ POLYGLLOT PERSISTENCE

Проведено аналіз сучасних методів та технологій, що застосовуються для вирішення задач створення та супроводу розподілених баз даних із багатоваріантним збереженням. Обґрунтовано використання теореми Брюера стосовно обмежень та компромісних рішень щодо властивостей: узгодженості даних, доступності, допустимості поділу. Враховується розширення теореми Брюера щодо компромісу між затримками та узгодженістю при реплікації та принципи щодо базової доступності, гнучкого стану та кінцевої узгодженості. Наведено приклади архітектурних рішень для організації доступу в системі електронної комерції з бізнес-логіки та з єдиним механізмом доступу для мультимодельних СУБД. Показано недоліки підходів і можливості подальших досліджень.

Ключові слова: розподілені бази даних; горизонтальне масштабування; polyglot persistence; мультимодельні СУБД; теорема Брюера.

Рис.: 3. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. На сьогодні використання баз даних із багатоваріантною персистентністю (polyglot persistence), що передбачає доступ до кількох серверів БД з різними логічними моделями, набуває особливої популярності. Для збереження даних і вирішення різних задач з їх оброблення навіть у межах однієї інформаційної системи доводиться використовувати декілька різних СУБД, кожна з яких підтримує свою модель даних. Сучасні програмні рушії баз даних створені для виконання операцій із певними структурами даних і обсягами даних, наприклад, для роботи з наборами даних або сховищем, дуже швидкого отримання ключів і їхніх значень, або зберігання розширених документів чи складних графів інформації.

Постановка проблеми. У випадку забезпечення єдиного доступу до баз даних з багатоваріантною персистентністю з бізнес-логіки обсяг коду, що виконує збереження даних, зростає пропорційно числу СУБД, що використовуються; обсяг коду, що синхронізує дані, – пропорційний квадрату цього числа. Кратно числу використовуваних СУБД зростають витрати на забезпечення enterprise-характеристик (масштабованості, відмовостійкості, високої доступності) кожної з використовуваних СУБД. Неможливо забезпечити enterprise-характеристики підсистеми зберігання загалом – особливо транзакційність.

Для подолання проблем доступу до polyglot persistence БД із бізнес-логіки (відсутність гарантії відмовостійкості, громіздкість коду, необхідність інтеграції даних, дублювання даних, різний час для синхронізації даних) запропоновано рішення у вигляді мультимодельних СУБД з єдиним механізмом доступу.

Аналіз досліджень і публікацій. Проблемі ефективного зберігання гетерогенних даних БД, побудованих на різних моделях, присвячено багато робіт. Використання polyglot persistence вирішує проблему з обробкою гетерогенних даних, а системи, побудовані на її основі, відрізняються високою продуктивністю та низьким часом реакції на запит для кожної окремої моделі даних [1].

Водночас існує багато публікацій щодо можливих конфігурацій розподілених баз даних щодо досягнення базових показників [2]. Існують суперечності стосовно того, які з показників обрати провідними, а якими умовно можна знехтувати.

Найбільший важливим рішенням у цьому випадку є те, чи віддати перевагу доступності чи узгодженості, як описано в теоремі Брюера. У [3] наведено порівняльну модель, яка співвідносить показники, що сприяє вибору сховища даних, відповідно до вимог певної інформаційної системи. У роботі [4] вивчено, як узгодженість реалізується в різних NoSQL базах даних та описано стратегії для забезпечення узгодженості та змінні компроміси між узгодженістю та іншими атрибутами якості, такими як доступність, затримка та допустимість поділу. Балансування може застосовуватися для різних потреб залежно від системних вимог і бажаного результату, при цьому існують балансувальники для різних рішень баз даних [5; 6]. Велика проблема існуючих рішень полягає в тому, що типи БД мають бути однаковими.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Не вирішеним завданням є розробка й супроводження розподілених мультимодельних СУБД з єдиним механізмом доступу, що забезпечують основні показники розподілених систем на основі теореми Брюера. У цій роботі особливий акцент робиться на те, що розподілена база даних представляється в вигляді єдиної системи, до складу якої входять вузли (сервери БД), що реалізують різні моделі даних.

Необхідно виконати аналіз властивостей теореми Брюера (та її розширення) стосовно до розподілених баз з єдиним механізмом доступу до багатоваріантних даних, вибору архітектурних рішень при побудові та супроводженні високонавантаженої інформаційної системи електронної комерції для проведення подальших експериментальних досліджень з метою отримання компромісних рішень за властивостями базової доступності й доступності поділу. За основу отримання таких рішень взяти властивість кінцевої узгодженості як незмінюваний параметр.

Мета статті. Метою цієї роботи є аналіз і проектування розподілених баз даних на основі технологій багатоваріантної персистентності, а також формалізація властивостей теореми Брюера та її розширення стосовно до розподілених мультимодельних баз даних.

Виклад основного матеріалу. При використанні сучасних баз даних у високонавантажених інформаційних системах насамперед розглядається використання механізмів масштабованості в двох напрямках.

Простішим, але найбільш затратним варіантом є нарощування апаратних потужностей сервера БД, це так зване вертикальне масштабування. Другий напрям використовує горизонтальне масштабування, при якому виконується додавання кількості серверів та розподілення бази даних між ними.

Особливістю вертикальної масштабованості є присутність деякого порогу (або межі) і висока вартість витрат на реалізацію поставлених вимог в області підвищення продуктивності сервера. Тому найбільш прийнятним варіантом вирішення більшості завдань у розподілених системах є горизонтальне масштабування. Цей механізм масштабування передбачає збільшення кількості серверів при зростаючих навантаженнях під час обробки великих обсягів запитів [10].

Ці варіанти можуть допомогти вирішити проблеми високого навантаження, але без оптимізації структури бази даних рентабельність процесу буде досить низькою. Така оптимізація з цілями масштабування може відбуватися трьома основними шляхами: партиціювання, шардінг, реплікація [11].

Однак горизонтальне масштабування системи управління даними є досить складним завданням, оскільки традиційні SQL-орієнтовані сервера погано адаптовані до повної фрагментації даних. Це призводить до розробки нових концепцій у роботі розподілених баз даних і створення підходів, які вирішують проблеми горизонтального масштабування.

З іншого боку, як шляхи вирішення проблем реляційних БД запропоновані нові технології персистентності – open source рішення NoSQL – нереляційні розподілені бази даних із підтримкою гнучкої схеми бази даних і горизонтальної масштабованості, у яких як мова запитів не використовується SQL [1].

У реальних інформаційних системах використовується поєднання реляційних та NoSQL рішень, серед яких документні (document), ключ-значення (key-value), графові (graph) і колоночні сховища (column).

Рекомендації щодо типу бази даних для використання на основі функціональності даних на прикладі системи електронної комерції показано на рис. 1.

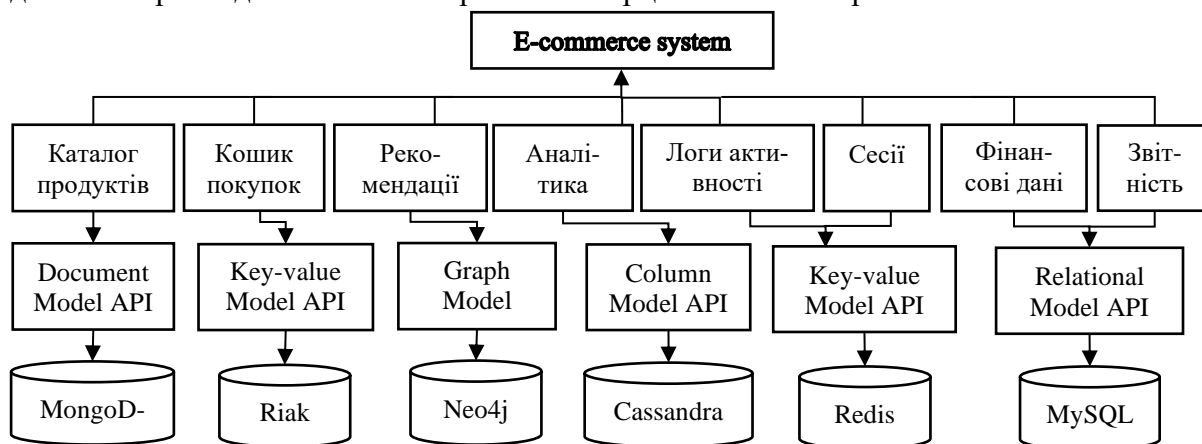


Рис. 1. Схема реалізації системи електронної комерції на боці сервера на основі polyglot persistence

Для даних каталогу продукції, з якими проходить багато читань і мало записів, і самі записи про продукти утворюють природні агрегати найкраще обрати документну модель даних. Дані з кошику покупок потребують високої доступності в багатьох місцях, дані можуть об'єднувати неузгоджені записи. Найкраще підходить документна модель даних, можливо, модель ключ-значення.

Для даних про рекомендації, де необхідний швидкий перехід за посиланнями між покупками продуктів друзів, і рейтингами, варто обрати графову модель або колоночне сховище.

У випадку використання широкомасштабної аналітики потрібна організація даних у великому кластері, тому найкраще обрати колоночне сховище.

Журнали активності користувачів та аналіз соціальних мереж потребують великої кількості записів на кількох вузлах. Для цього найкраще підійде модель ключ-значення або документна модель. Вимагається швидкий доступ для читання та запису при використанні даних про сесии користувача, немає необхідності зберігати довговічну інформацію. У такому випадку найкраще підійде модель ключ-значення, можлива реалізація і з документною моделлю.

Використання фінансових даних потребує оновлення транзакцій, в цьому випадку таблична структура відповідає даним, тому найкраще обрати реляційну модель. Так само для даних щодо звітності – SQL добре взаємодіє з інструментами звітності, але можлива реалізація і колоночної моделі.

Мультимодельні СУБД

Модель багатоваріантної персистентності використана і при побудові мультимодельних СУБД, які спрямовані вирішити проблеми з доступом до різних моделей із бізнес-логіки.

Мультимодельні СУБД спрямовані на об'єднання різних логічних моделей даних в єдиний інтегрований програмний рушій, який використовує уніфіковану мову запитів і надає єдиний API, який використовується в усіх логічних моделях даних. Основна концепція полягає в тому, щоб на фізичному рівні зберігати всі дані в одній СУБД, а потім для обробки представляти інші моделі шляхом зіставлення моделей більш високого рівня з поданням нижчого рівня [1].

Приклад такої реалізації (з найбільшою кількістю підтримуваних API моделей) для тієї ж задачі побудови системи електронної комерції представлено на рис. 2.

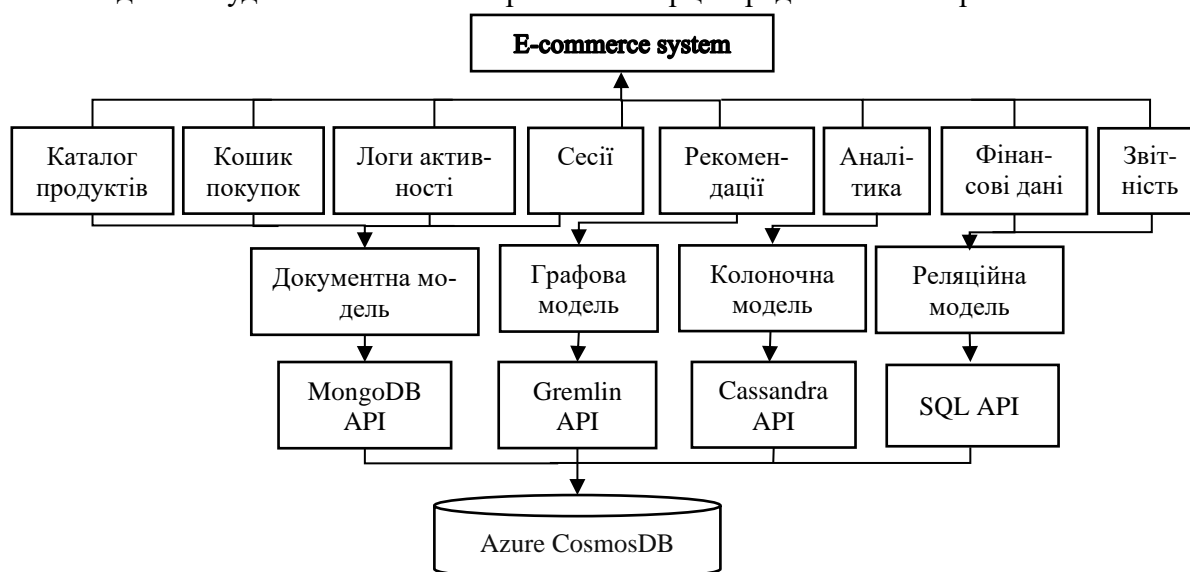


Рис. 2. Схема реалізації системи електронної комерції на стороні сервера на основі мультимодельної СУБД

Відомі лідери серед мультимодельних СУБД:

- на основі реляційної моделі, що реалізують графову та документну модель (Oracle, MS SQL, PostgreSQL);
- на основі документної моделі, що реалізують графову й реляційну (MarkLogic), графову і модель «ключ-значення» (MongoDB);
- на основі моделі «ключ-значення», що реалізують документну і графову модель (Redis);
- на основі колоночної моделі, що реалізують документну і графову модель (DataStax);
- без основної моделі, що реалізують графову і документну модель (ArangoDB, OrientDB), та графову, колоночну, документну і реляційну модель (Azure CosmosDB).

Найбільш широка мультимодельність в Azure CosmosDB на сьогодні являє собою лише можливість використання декількох баз даних, що підтримують різні моделі від одного виробника (Azure), що не вирішує всіх проблем багатоваріантного збереження. Обрана користувачем модель даних та API, що використовується, фіксується в момент створення акаунта в сервісі. Неможливо отримати доступ до даних, що завантажені в одній моделі, в форматі іншої моделі.

Теорема Брюера та її розширення

Серед властивостей, яким повинна задовольняти розподілена мультимодельна база даних, виділимо наступні [12].

–Локальна автономність. Локальні дані належать локальним вузлів і управляються адміністраторами локальних БД.

–Безперервне функціонування. Видалення або додавання вузла не повинно вимагати зупинки системи в цілому.

–Незалежність від фрагментації. Доступ до даних не повинен залежати від наявності або відсутності фрагментації і від типу фрагментації.

–Обробка розподілених транзакцій. Протокол обробки розподіленої транзакції має забезпечувати виконання чотирьох основних властивостей транзакції: атомарність, узгодженість, ізолюваність та довговічність (ACID).

– Обробка розподілених запитів. Система повинна автоматично визначати методи виконання з'єднання (об'єднання) даних.

– Незалежність від типу СУБД. Система повинна бути здатною функціонувати поверх різних локальних СУБД, можливо, з різними моделями даних (вимога гетерогенності).

Неможливість підтримки наведених критеріїв розподіленості (особливо ACID) якоюсь мірою компенсована евристичним принципом, відомим як теорема Брюера або теорема CAP [7]. Дана теорема використовується для обґрунтування компромісів при проєктуванні розподілених систем і ґрунтується на тому, що побудова інформаційних систем або розподілених структур не може виконуватися при одночасному виконанні наступних властивостей: узгодженості (consistency), доступності (availability) і стійкості до розділення (partition tolerance) [10].

Згідно CAP, всі розподілені СУБД забезпечують тільки дві з трьох властивостей – узгодженість (consistency) даних, доступність (availability) і доступність поділу (partition tolerance). Відповідно:

– consistency – наявності тільки однієї копії даних, яка відповідає останній за часом операції оновлення;

– availability – доступність даних при наявності операцій оновлення;

– partition tolerance – здатність вузлів, між якими немає зв'язку, продовжувати працювати незалежно один від одного.

Грані CAP (рис. 3а) можна описати так.

РА – у випадку мережного поділу вузлів системи (горизонтального масштабування), вона продовжує відповідати користувачам на запити, не гарантуючи узгодженості даних.

РС – у випадку мережного поділу вузлів системи, вона припиняє відповідати користувачам на запити, дані залишаються узгодженими.

СА – у разі відсутності мережного поділу дані доступні та узгоджені (нормальний режим роботи).

До прикладу, такі системи, як Cassandra та Riak, можуть забезпечити доступність, тоді як такі системи, як HBase, MongoDB і DynamoDB забезпечують надійну узгодженість.

Виходячи з означення, доступність в CAP, має дві суттєві проблеми. Перша – нема поняття часткової доступності, чи якоїсь її міри, а є тільки повна доступність. Інша проблема – необмежений час відповіді на запити, навіть якщо система відповідає годину, вона все ще доступна.

Відповідно до означення доступності "...every node (if not failed) always..." розділення в мережі не включає в себе вузли, що перестали працювати. Якщо сервер на якийсь час вийшов з ладу, він може відновитись, обмінятися даними з іншими вузлами та продовжити роботу. В випадку розділення в мережі – необхідно чекати відновлення з'єднання. Тому варто звертати увагу на здатність системи відновлюватись, але за рамками CAP теорема.

Теорема PACELC [8] – розширення теореми CAP, яке свідчить, що у разі розділення в мережі (P) у розподіленій базі даних необхідно вибирати між доступністю (A) та узгодженістю (C) (згідно з теоремою CAP), але в будь-якому випадку, навіть якщо система працює нормально без поділу (E), потрібно вибирати між затримками (L) і узгодженістю (C).

В випадку горизонтального масштабування в розподілених базах даних вимога високої доступності передбачає, що система має реплікувати дані. Поки розподілена система реплікує дані, виникає потреба вибирати між узгодженістю та затримками.

Вся теорема зводиться до твердження: IF P -> (C or A), ELSE (C or L).

Затримка (latency) – це час, за який клієнт отримує відповідь і який регулюється будь-яким рівнем consistency. Latency, у певному сенсі є ступенем доступності.

Грані PACELC та приналежність певних СУБД показана на рис. 3, б.

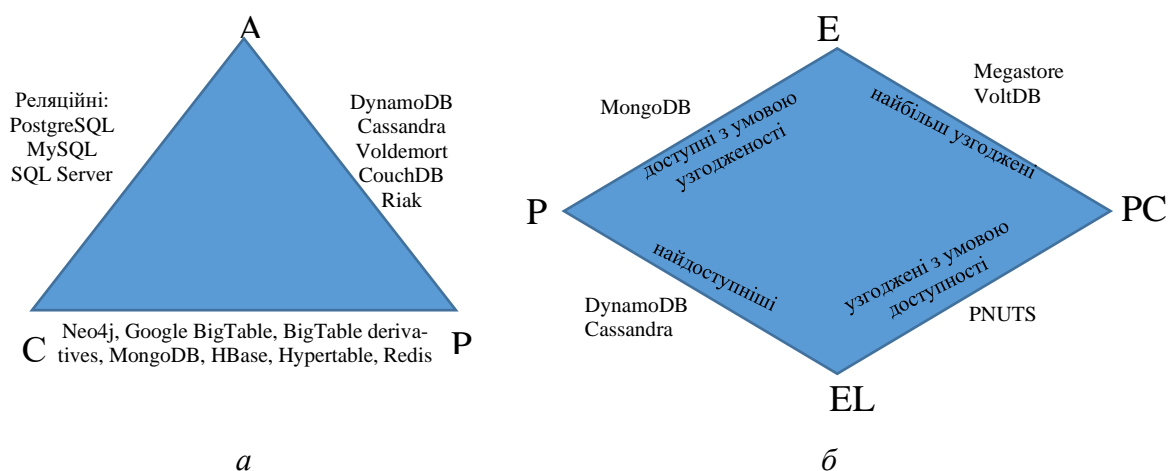


Рис. 3. Ілюстрація взаємозв'язку:
 а – CAP і популярних СУБД; б – PACELC та популярних СУБД

Чисті PC системи можуть взагалі бути не доступні, оскільки намагатимуся прийти до узгодженого стану й не відповідатимуть. PC системи можуть дати не очікувану строгу узгодженість (strong consistency), а кінцеву (eventual consistency) з певним порогом. У цьому контексті краще використовувати принципи BASE [9].

BASE – це своєрідний контраст ACID, який говорить, що справжня узгодженість не може бути досягнута в реальному світі й не може бути змодельована в системах, що високомасштабуються. Запропоновані уточнення властивостей.

Базова доступність (basic availability). Система відповідає на будь-який запит, але ця відповідь може містити помилку або неузгоджені дані.

Гнучкий стан (soft-state). Стан системи може змінюватися згодом через зміни кінцевої узгодженості.

Кінцева узгодженість (eventual consistency). Система, зрештою, стане узгодженою. Система продовжуватиме приймати дані та не перевірятиме кожен транзакцію на узгодженість.

Перспектива подальших досліджень. Ця робота є початковим етапом у дослідженні одного з напрямів використання розподілених баз даних із багатоваріантною персистентністю. Подальша робота буде полягати у створенні мультимодельної СУБД, що підтримує динамічне використання різних моделей даних та в проведенні навантажувальних впливів на такі бази даних із використанням теореми Брюера та її розширення. При цьому передбачається отримати кількісні та якісні оцінки компромісних рішень щодо властивостей базової доступності і допустимості поділу для фіксованого параметра властивості кінцевої узгодженості.

Висновки. У статті:

- виконано огляд деяких сучасних рішень, що забезпечують розробку та супроводження розподілених СУБД на основі багатоваріантного збереження. Ці рішення ґрунтуються на використанні теореми Брюера (CAP) і її розширення (PACELC) та принципах BASE;

- відповідно до властивостей теорем наведено формалізація визначень для розподілених баз даних із багатоваріантною персистентністю;

- описано проблему побудови високонавантаженої інформаційної системи електронної комерції з розподіленою динамічною базою з єдиним механізмом доступу до багатоваріантних даних, вибору її конфігурації для проведення подальших експериментальних досліджень з метою отримання компромісних рішень за властивостями.

Список використаних джерел

1. Information Technology of Supporting Architectural Solutions Using Polyglot Persistence Concept in Learning Management Systems / O. Arsirii, M. Glava, Kolonko M., A. Glumenko // *Applied Aspects of Information Technology*. – 2020. – Vol. 3, № 2. – Pp. 13-31.
2. Мухін В. Є. Аналіз ефективності оброблення запитів серверами гетерогенних розподілених баз даних / В. Є. Мухін, Я. І. Корнага // *Технічні науки та технології*. – 2016. – № 1(3). – С. 89-94.
3. NoSQL database systems: a survey and decision guidance / F. Gessert, W. Wingerath, S. Friedrich et al. // *Comput Sci Res Dev*. – 2017. – Vol. 32. – Pp. 353-365.
4. Diogo M. Consistency Models of NoSQL Databases / M. Diogo, B. Cabral, J. Bernardino // *Future Internet*. – 2019. – Pp. 43-51.
5. Joshi S. Balanced Load in Distributed System with NoSQL Middleware / S. Joshi, S. Ameta, G. Lavania // *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. – 2019. – Vol. 6(5). – Pp. 133-137.
6. Rukkas K. Load balancing consistency in a distributed datastore / K. Rukkas, G. Zholtkevych // *Системи управління, навігації та зв'язку*. – 2020. – Т. 2 (60). – С. 95-100.
7. Brewer E. A. Towards robust distributed systems [Electronic resource] / E. A. Brewer // *The nineteenth annual ACM symposium*. – ACM Press, 2000. – Accessed mode: <https://doi.org/10.1145/343477.343502>.
8. Wojciech Golab. Proving PACELC / Wojciech Golab // *ACM SIGACT News*. – 2018. – Vol. 49, Issue 1. – Pp. 73-81. – doi:10.1145/3197406.3197420.
9. Pritchett D. Base an acid alternative / D. Pritchett // *ACM Queue*. – 2008. – Vol. 6. – Pp. 48-55.
10. Гречанинов В. Ф. Аналіз і проектування розподілених систем на основі кластерних технологій / В. Ф. Гречанинов // *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. – 2022. – № 2(14). – Pp. 186-191. – DOI: <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.14.186191>.
11. Нагорний П. В. Проблеми масштабування баз даних у високонавантажених системах [Електронний ресурс] / П. В. Нагорний // *Новітні технології сучасного суспільства (НТСС-2020) : збірник тез доп. І Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Чернігів, 17 грудня 2020 р.)*. – Чернігів : Нац. ун-т «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 175-177. – Режим доступу: <https://eportfolio.kubg.edu.ua/data/conference/6390/document.pdf>.
12. Бальченко І. В. Проблеми розроблення неоднорідних розподілених систем управління базами даних / І. В. Бальченко // *Технічні науки та технології*. – 2017. – № 2(4). – С. 67-71.

References

1. Arsirii, O., Glava, M., Matthias Kolonko, & Glumenko, A. (2020). Information Technology of Supporting Architectural Solutions Using Polyglot Persistence Concept in Learning Management Systems. *Applied Aspects of Information Technology*, 3(2), 13–31.
2. Mukhin, V. Ye., & Kornaha, YA. I. (2016). Analiz efektyvnosti obroblennia zapytiv serveramy heterohennykh rozpodilennykh baz danykh [Efficiency analysis of requests' processing by the server in the heterogeneous distributed databases]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 1(3), 89-94.
3. Gessert, F., Wingerath, W., Friedrich, S. et al. (2017). NoSQL database systems: a survey and decision guidance. *Comput Sci Res Dev*, 32, 353-365.
4. Diogo, M., Cabral, B., Bernardino, J. (2019). Consistency Models of NoSQL Databases. *Future Internet* (pp. 43-51).
5. Joshi, S., Ameta, S., & Lavania, G. (2019). Balanced Load in Distributed System with NoSQL Middleware. *International Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, 6(5), 133-137.
6. Rukkas, K., & Zholtkevych, G. (2020). Load balancing consistency in a distributed datastore. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zviazku – Control, navigation and communication systems*, 2(60), 95-100.
7. Brewer, E. A. (2000). Towards robust distributed systems. *The nineteenth annual ACM symposium*. ACM Press. <https://doi.org/10.1145/343477.343502>.
8. Wojciech Golab. (2018). Proving PACELC. *ACM SIGACT News*, 49(1), 73–81. doi:10.1145/3197406.3197420.
9. Pritchett, Dan. (2008). Base an acid alternative. *ACM Queue*, 6, 48-55. 10.1145/1394127.1394128.

10. Grechaninov, V. (2022). Analiz i proektuvannya rozpodilenykh system na osnovi klasternykh tekhnologii [Analysis and design of distributed systems based on cluster technologies]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cybersecurity: Education, Science, Technique*, (2(14)), 186-191. <https://doi.org/10.28925/2663-4023.2021.14.186191>.

11. Nahorni, P. (2020). Problemy masshtabuvannya baz danykh u vysokonavantazhenykh systemakh [Problems of database scaling in highly loaded systems]. *Novitni tekhnolohiyi suchasnoho suspilstva (NTSS-2020): zbirnyk tez dop. I Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Chernihiv, 17 december 2020) – Latest technologies of modern society (NTSS-2020): collection of abstracts. I International science and practice conf.* (pp. 175-177). Chernihiv Polytechnic National University. <https://eportfolio.kubg.edu.ua/data/conference/6390/document.pdf>.

12. Balchenko, I. (2017). Problemy rozroblennia neodnorodnykh rozpodilenykh system upravlinnia bazamy danykh [Issues of the development of heterogeneous distributed database management systems]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (2(4)), 67-71.

Отримано 25.09.2022

UDC 004.658:004.4'41:004.82

Iryna Bilous¹, Dmytro Petrenko², Oleh Yermolenko³

¹PhD in technical sciences, associate professor, head of Information technology and Software engineering department
Chernihiv National University of Technology (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: iryna.bilous.it@gmail.com. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5887-1955>. **ResearcherID:** [V-7697-2017](https://orcid.org/0000-0002-5887-1955)

²PhD student of Information technology and Software engineering department
Chernihiv National University of Technology (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: dino96gr@gmail.com

³Master's Degree Student of Information Technology and Software Engineering Department
Chernihiv National University of Technology (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: yermolenkooleg2@gmail.com

THE DEVELOPMENT AND MAINTENANCE OF DISTRIBUTED DATABASE SYSTEM BASED ON POLYGLOT PERSISTENCE TECHNOLOGIES

The analysis of modern methods and technologies used for solving the problems of creating and maintaining distributed databases with a multi-variant storage was carried out. Distributed databases with a single mechanism for accessing multi-variate data are singled out. The use of scalability mechanisms in the direction of horizontal scaling (in which a certain number of servers are increased within one system) is considered.

The justification for the use of the Brewer's theorem is given, in relation to restrictions and compromise solutions regarding properties: consistency, availability, partition tolerance. In relation to this theory, a formalization of the definition of properties for distributed multimodel databases is presented. The extension to the Brewer's theorem, which requires a trade-off between delays and consistency when applying a replication, and the principles for basic availability and eventual consistency are taken into account.

The ways to create and support a highly loaded e-commerce system with support for distributed databases with multi-variate persistence are provided in the article. Examples of possible architectural solutions for organizing access in such a system using a mix of relational and NoSQL (such as document, key-value, graph and column storage) are given. Such architectural solution as distributed multi-model DBMS with a single access mechanism is proposed to overcome the problems of accessing databases with multi-variant saving from business logic. The shortcomings for such solution's modern implementations and ways of its improvement are shown. In particular, it is a support for all known data models and dynamic access to data loaded in one model in the format of another model.

This work provides an opportunity to obtain and analyze experimental data at the next stages for the study of distributed multi-model dynamic databases using loading effects to obtain quantitative and qualitative characteristics of basic availability and partition tolerance for a fixed parameter of the eventual consistency for multimodel DBMS with a single access mechanism.

Key words: distributed databases, horizontal scaling, polyglot persistence, multimodel DBMS, Brewer's theorem.

Fig.: 3. **References:** 12.

Марина Ларченко

кандидат юридичних наук, доцент, студентка II курсу магістратури ОП Кібербезпека

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: urlinka2006@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2643-980X>ResearcherID: [X-9681-2018](https://orcid.org/0000-0002-2643-980X)**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ БАЗ ДАНИХ**

Україна перебуває на етапі впровадження європейських стандартів захисту інформації, однак подальшого вдосконалення потребує програмна складова її захисту. Криптографічний захист баз даних може використовувати шифрування даних, які вже потім (після шифрування) зберігаються у файлі, а також шифрування безпосередньо каталогів і файлів. Підхід до захисту баз даних має бути комплексним. Так, шифрування не можна використовувати для вирішення проблем контролю доступу. Водночас застосування добре налаштованої програми криптографічного захисту, яка використовує надійний алгоритм, здатне суттєво підвищити цілісність, конфіденційність та доступність інформації бази даних.

Ключові слова: безпека баз даних; захист персональних даних; криптографічний захист; ключ; алгоритм шифрування.

Табл.: 1. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. Бази даних сьогодні використовуються всюди. Вони вміщують різноманітну інформацію, що підлягає захисту. За змістом інформація поділяється на: інформацію про фізичну особу; інформацію довідково-енциклопедичного характеру; інформацію про стан довкілля (екологічна інформація); інформацію про товар (роботу, послугу); науково-технічну інформацію; податкову інформацію; правову інформацію; статистичну інформацію; соціологічну інформацію та інші види (Закон України «Про інформацію» ст. 10). За порядком доступу інформація поділяється на відкриту та з обмеженим доступом (ч. 1 ст. 20). Інформацією з обмеженим доступом, у свою чергу, є конфіденційна, таємна та службова інформація. Зокрема, конфіденційною є інформація про фізичну особу, а також інформація, доступ до якої обмежено фізичною або юридичною особою, крім суб'єктів владних повноважень. Конфіденційна інформація може поширюватися за бажанням (згодою) відповідної особи у визначеному нею порядку відповідно до передбачених нею умов, а також в інших випадках, визначених законом (ст. 21) [1].

Постановка проблеми. Захист інформації є необхідним для підтримки таких її властивостей, як цілісність (неможливість модифікації інформації неавторизованим користувачем), конфіденційність (інформація не може бути отримана неавторизованим користувачем) та доступність (авторизований користувач може використовувати інформацію відповідно до правил, встановлених політикою безпеки не очікуючи довше заданого (прийняттого) інтервалу часу).

Загрозами безпеці інформації є: знищення, модифікація, блокування, несанкціонований доступ, витік, розголошення. Зокрема, криптографічний захист баз даних дозволяє попередити доступ до інформації, яку вони містять, за допомогою математичних перетворень повідомлення. Йдеться передусім про запобігання несанкціонованій модифікації та несанкціонованого розголошення інформації.

Очевидно, що постійно зростає складність самих даних та функцій створюваних баз даних, відповідно змінюються і методи атак зловмисників, удосконалюються самі технології, а традиційні методи не завжди відповідають вимогам часу. У сучасному інформаційному світі бази даних щоденно зазнають серйозних загроз їхній безпеці, що стало можливим через розвиток комп'ютерних мереж, наявності технічних прорахунків та з інших причин. Інциденти безпеки завдають значних збитків власникам баз даних в усьому світі, тому дослідження їх безпеки, зокрема криптографічного захисту, є актуальними.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питанням криптографічного захисту баз даних приділяли чимало уваги вітчизняні та закордонні науковці. Так, Є. Б. Лопін провів ґрунтовне дослідження часових показників шифрування/дешифрування файлів

баз даних медичних інформаційних систем [10]. Ю. В. Борсуковський та В. Ю. Борсуковська досліджували конкретні прикладні аспекти захисту аутентифікаційних даних клієнтів у базах [7]. О. Войтович та І. Микитюк описали метод захисту баз даних шляхом багатопарового користувацького доступу [11]. С. А. Антоненко досліджував криптографічні основи застосування електронного цифрового підпису в Україні [14].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що ці та інші роботи стосуються окремих аспектів криптографічного захисту інформації. Також багато досліджень українських науковців зосереджені переважно у сфері правового регулювання захисту баз даних в Україні. Закордонні ж дослідження здебільшого мають порівняльний або ознайомлювальний характер щодо застосовуваних у світі криптографічних алгоритмів. Натомість в умовах зростаючої цифровізації економіки бази даних зазнають дедалі більших ризиків порушення конфіденційності, цілісності та доступності, бо завжди є той, хто бажає реалізувати вторгнення заради досягнення якоїсь своєї мети. Тому необхідною є розробка сучасних способів боротьби із загрозами безпеці баз даних.

Метою статті є виокремлення актуальних проблем криптографічного захисту баз даних та окреслення деяких шляхів їх вирішення.

Виклад основного матеріалу. Основними джерелами загроз для баз даних є наступні: неефективний захист інформації, аномальні користувачі (незаконна поведінка, несанкціонований доступ), ненадійна технічна система захисту та зовнішні атаки. Загрози базам даних можна також поділити на кілька категорій: фальшування (підміна) даних, розкриття даних, відстежування (збір) даних [2].

Одним з найбільш проблемних правових питань в умовах розвитку цифрового суспільства та економіки є захист персональних даних. Глобалізація та цифровізація призвели до того, що дані користувача однієї країни можуть використовувати треті особи з іншої країни (у тому числі незаконно). Вітчизняні дослідники наголошують, що цифрова інформація, яка вміщена в базах даних, стала активом з високою доданою вартістю: зловмисне використання персональних даних та дезінформаційні кампанії мають високий потенціал для дестабілізації суспільства [3].

Постановою Кабінету Міністрів України № 1109 від 9 жовтня 2020 року [4] затверджено перелік секторів (підсекторів), основних послуг критичної інфраструктури України, де серед інших зазначений інформаційний сектор з типами основних послуг, серед яких: 1) надання хмарних послуг, у тому числі зберігання та обробки даних у центрах обробки даних та/або хмарних сховищах, здійснення хмарних обчислень; 2) забезпечення функціонування систем електронного урядування; 3) надання електронних довірчих послуг; 4) забезпечення функціонування систем електронної ідентифікації; 5) електронні комунікації.

Державна служба спеціального зв'язку та захисту інформації рекомендує, крім іншого, для захисту баз даних: відключити віддалений доступ до інформаційних систем або переглянути коло співробітників, яким надано право віддаленого доступу до інформаційних систем, впроваджувати максимальні обмеження (фільтрація за IP, протоколами, часом доступу, користувачами тощо); застосовувати тільки надійно захищені методи віддаленого доступу та протоколи для адміністрування інформаційних систем та ресурсів, що мають належний рівень шифрування; використовувати стійкі паролі, налаштувати багатфакторну автентифікацію та забезпечити надійне збереження автентифікаційних даних [5].

У такий спосіб увага держави більше концентрується на запобіганні (що включає як недопущення та профілактику порушень конфіденційності, так і припинення дій, що вже мають місце в кіберпросторі) кіберінцидентам та кібератакам на бази даних, які включені до об'єктів критичної інфраструктури країни та усіх інших, від яких напряду залежить функціонування важливих секторів економіки.

Зокрема, Постановою Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2020 р. № 1295 затверджено Порядок функціонування системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки [6] визначає засади функціонування системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки, які здійснюються щодо об'єктів кіберзахисту, визначені частиною другою статті 4 Закону України «Про основні засади забезпечення кібербезпеки України» [7]. Втім, дія цього Порядку не поширюється на об'єкти критичної інформаційної інфраструктури Міноборони та Збройних Сил в умовах надзвичайного і воєнного стану.

Об'єктами кіберзахисту відповідно до згаданого Закону є:

1) комунікаційні системи всіх форм власності, в яких обробляються національні інформаційні ресурси та/або які використовуються в інтересах органів державної влади, органів місцевого самоврядування, правоохоронних органів і військових формувань, утворених відповідно до закону;

2) об'єкти критичної інформаційної інфраструктури;

3) комунікаційні системи, які використовуються для задоволення суспільних потреб та/або реалізації правовідносин у сферах електронного урядування, електронних державних послуг, електронної комерції, електронного документообігу.

06.07.2010 р. Україна ратифікувала Конвенцію Ради Європи про захист осіб у зв'язку з автоматизованою обробкою персональних даних та Додатковий протокол до неї [8]. Цим самим Україна взяла на себе зобов'язання забезпечити дотримання прав і свобод людини, зокрема, право на недоторканність приватного життя, передбаченого ст. 8 Конвенції про захист прав людини і основоположних свобод та гарантованого ст. 32 Конституції України.

Також в Україні питання захисту персональних даних регулюється Законом України «Про захист персональних даних», який набрав чинності у 2011 р. та встановлює вичерпний перелік підстав обробки персональних даних (ст. 11) [9].

Також принципи обробки персональних даних (відкритість і прозорість, відповідальність, адекватність, не надмірність їх складу та змісту стосовно визначеної мети обробки), а також підстави для обробки персональних даних (згода суб'єкта персональних даних) сформувала Велика Палата Верховного Суду. Судді звернули увагу на те, що законодавством не врегульоване питання щодо наслідків відмови особи від обробки її персональних даних, тобто фактично відсутня будь-яка альтернатива такого вибору, що обумовлює низьку якість закону та порушення конституційних прав особи.

Заслуговує на увагу розгляд основних положень Директиви 2016/680 Європейського Парламенту та Ради ЄС від 27.04.2016 р. про захист фізичних осіб стосовно обробки персональних даних компетентними органами для цілей запобігання, розслідування, виявлення або переслідування кримінальних злочинів або виконання кримінальних покарань та про вільне переміщення таких даних, а також Загального Регламенту ЄС щодо захисту персональних даних (General Data Protection Regulation – GDPR) (Регламенту (ЄС) 2016/679 Європейського парламенту та Ради від 27.04.2016 р. про захист фізичних осіб щодо обробки персональних даних та про вільне переміщення таких даних) [10]. Цей Регламент був прийнятий з метою приведення законодавства Європейського Союзу у сфері захисту персональних даних у відповідність до вимог «цифрової епохи» та на виконання Стратегії Єдиного Цифрового Ринку Європи (Digital Single Market Strategy).

Цими документами внесені такі новації в законодавство країн-членів ЄС:

- «право бути забутим» - право вимагати знищення усіх персональних даних після того, як закінчився термін їх обробки;

- право особи знати про злами баз персональних даних та їх наслідки;

- право на перенесення персональних даних: фізичні особи можуть переносити свої персональні дані при зміні провайдерів послуг;

- право притягнення до жорсткої відповідальності за порушення вимог до захисту персональних даних.

GDPR встановлює більш суворі правила до згоди на опрацювання персональних даних: обов'язок довести її наявність прямо покладається на того, хто їх збирає. Також посилено критерії до поінформованості суб'єктів персональних даних, встановлено, що інформація про те, як дані збираються та використовуються, має надаватись у стислій, прозорій, доступній формі. Обов'язок доводити факт дотримання ключових вимог щодо опрацювання персональних даних покладається на суб'єкта, який їх збирає (презумпція вини організації-порушника). Варто зауважити, що саме впровадження європейських стандартів з регулювання захисту персональних даних наблизить Україну до повної інтеграції та до Єдиного Цифрового Ринку ЄС [3].

Крім правових проблем захисту баз даних, у всьому світі існує гостра проблема їх програмного захисту.

Yong Wang, Jinsong Xi, Tong Cheng у 2021 році опублікували глобальне дослідження загроз базам даних, що існують у сучасному цифровому просторі, а також проаналізували 76 опублікованих матеріалів досліджень, що містять різноманітні практичні рішення більш-менш ефективного усунення цих загроз. Класифікація цих загроз та рішень може бути наведена в табличному вигляді [2]:

Таблиця – Класифікація загроз базам даних та відповідних їм рішень

Загрози першого рівня	Загрози другого рівня	Ушкодження	Рішення
1	2	3	4
Дані не захищені ефективно	Фальшування даних	Дані викривлені або недійсні	Виявлення несанкціонованого доступу, аутентифікація користувача, шифрування даних
	Розкриття даних	Незаконне використання даних користувача	Аутентифікація користувача, аудит, побудова моделі машинного навчання
	Дані відстежуються або збираються	Порушення конфіденційності, розкриття	Створення спеціальної системи шифрування даних
Виключення користувача	Незаконний акт	Порушення рольового кодексу поведінки	Виявлення вторгнень, створення спеціальної системи аналізу поведінки користувачів
	Несанкціонований доступ	Незаконна обробка даних	Контроль доступу
	Слабка обізнаність про безпеку	Створюються шпарини для зловмисників	Проведення емпіричних досліджень та навчання персоналу
Вразливість системи захисту	Помилка ідентифікації	Використовується для знищення бази даних	Проведення оцінки рівня безпеки, застосовується емпірична основа
	Неточна ідентифікація	Відхиляються звичайні користувачі, але приймаються нелегальні	Аутентифікація користувача
Зовнішня атака	Спам	Займає багато місця, вчиняються шахрайські дії	Контроль доступу
	Шкідливий трафік	Сервер працює ненормально	Аудит, виявлення вторгнень
	SQL-ін'єкція	Впровадження троянського коня, незаконне привласнення прав	Контроль доступу, аналіз поведінки користувачів, прогнозування системних ризиків

Закінчення табл.

1	2	3	4
	Незаконний доступ	Зламування механізму аутентифікації системи та отримання даних	Аутентифікація користувачів, створення спеціальної системи виявлення вторгнень
	Шкідливе ПО	Незаконний доступ до секретних даних користувачів	Шифрування даних, виявлення шкідливого ПО, виявлення вторгнень
	DDoS-атака	Недоступність системних функцій	Виявлення вторгнень, контроль доступу
	Обхід та фізична атака	Пошкодження обладнання та інше	Виявлення вторгнень, перепони для захисту від несанкціонованого вторгнення

Державні установи та приватні компанії з кожним роком витрачають дедалі більше коштів на захист баз даних. Це відбувається з таких причин. Перша з них – це кіберзлочини. Так, постійно удосконалюються інструменти зловмисників, усе більш витонченими стають методи соціальної інженерії, з'являються безфайлові способи проникнення. Зокрема, згідно з оприлюдненими дослідженнями у світі лише у 2019 році було розкрито понад 9 млрд облікових записів, що містять персональну інформацію [11]. В Україні згідно зі Звітом роботи системи виявлення вразливостей Державного центру кіберзахисту Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації у 2021 році зафіксовано більше 300 000 випадків несанкціонованого доступу до інформації та більше 250 000 випадків несанкціонованої її модифікації [5]. Ця тенденція закріпилась також і у 2022 році [12].

З іншого боку, дедалі більше загострюється так звана проблема відповідності. Міжнародне законодавство щодо захисту персональної інформації ставить більше вимог до України, яка готується стати повноправним членом ЄС. Відповідальність за збереження даних покладається на організації та установи, які займаються їх збором. Це також необхідно з метою збереження конкурентоспроможності на міжнародному ринку.

Очевидно, що для ефективного захисту баз даних мають застосовуватись такі (мінімальні) вимоги з інформаційної безпеки.

1. Повинен бути забезпечений захист аутентифікаційних даних від використання сторонніми особами і зменшена ймовірність їх компрометації.

2. Ресурс повинен бути захищеним від стороннього доступу.

3. Повинен бути зручний і оперативний доступ до паролів.

4. Усі аутентифікаційні дані (логіни, паролі, URL і т.д.) повинні зберігатися в одній захищеній базі даних.

5. Логіни і паролі повинні зберігатися в зашифрованому вигляді, база даних повинна повністю шифруватися.

6. Для доступу до бази даних повинен використовуватися майстер-пароль і додаткові засоби захисту.

7. База даних повинна зберігатися на захищеному носії.

8. Відносно невисокою має бути загальна вартість рішення.

9. Процеси використання аутентифікаційних даних повинні бути, по можливості, максимально автоматизовані.

10. Повинна бути забезпечена можливість перевірки аутентифікаційних даних на витік до хакерських баз даних [13].

Крім цього, бажаним для суб'єктів використання баз даних є функції: 1) апаратного шифрування; 2) відновлення паролю без ризику для даних; 3) створення зашифрованої і захищеної паролем резервної копії даних на комп'ютері, NAS або хмарі; 4) портативне

рішення безпеки для обміну даними, яке дозволяє легко зашифрувати файли, щоб ділитися ними з колегами і партнерами; 5) можливість встановити час і дату, по спливанні яких дані на пристрої будуть автоматично знищені; 6) швидкість переміщення даних; 7) захист від брутфорс-атаки; 8) антивірусний захист; 9) здатність до оновлення [13].

Окреслені проблеми так чи інакше вирішуються шляхом застосування різних технологій, окремі з яких заслуговують на підвищену увагу. Їхня ефективність прямо залежить від конфігурації бази даних і сервера, на якому вона функціонує, від того, наскільки правильно спроектована і реалізована ІТ-інфраструктура і топологія мережі в цілому, від людського фактору і лояльності персоналу. Атаки на вебсервери і на сервери баз даних часто переслідують ті ж самі цілі, запускаються тими самими особами і мають схожий характер. Тому і захист інформації в базах даних будується на використанні рішень, що мають схожі принципи роботи й архітектуру. Серед безлічі засобів захисту баз даних можна виділити основні й додаткові.

До основних засобів захисту інформації в базах даних відносять наступні:

- парольний захист;
- захист полів і записів таблиць бази даних;
- встановлення прав доступу до об'єктів бази даних;
- шифрування даних і програм.

До додаткових засобів захисту бази даних можна віднести такі, які, по суті, ними не є, але безпосередньо впливають на безпеку даних. Це:

- вбудовані засоби контролю значень даних відповідно до їх типів;
- підвищення достовірності даних, що вводяться;
- забезпечення цілісності зв'язків таблиць;
- організація спільного використання об'єктів баз даних у мережі.

Зокрема, аналіз прийнятих у світі підходів до розробки комплексних систем захисту баз даних показує, що окрім технічних (апаратних) пристроїв (приладів) та відповідних організаційних заходів ефективним є використання програмно-технічних засобів захисту інформації, у тому числі засобів криптографічного захисту інформації або, говорячи простою мовою, програмного забезпечення, призначеного для шифрування даних [14]. При цьому може використовуватись як шифрування даних, які вже потім (після шифрування) зберігаються в файлі, так і шифрування безпосередньо каталогів та файлів.

Загалом шифрування – це кодування даних із використанням спеціального алгоритму, внаслідок чого дані стають недоступними для читання будь-якою програмою, що не має ключа дешифрування. Якщо в системі разом з базою даних міститься важлива конфіденційна інформація, то має сенс закодувати її з метою попередження можливостей несанкціонованого доступу із зовні (по відношенню до СУБД). Тому деякі СУБД містять засоби шифрування, призначені для таких цілей, а відповідні підпрограми забезпечують санкціонований доступ до даних (після їх декодування). Шифрування також може використовуватись для захисту даних при їх передачі по лініях зв'язку.

На думку Є. Б. Лопіна, з якою варто погодитись, зберігання в базах даних зашифрованої числової, символічної (текстової) та іншої інформації значно обмежуватиме можливості її автоматизованої обробки та використання з пошуковою метою SQL-запитів, внаслідок чого більш доцільним у деяких випадках може бути використання саме шифрування файлів баз даних. Дослідник, розглядаючи часові показники шифрування/дешифрування файлів баз даних медичних інформаційних систем, пропонує використання симетричного криптографічного алгоритму Blowfish [15].

Зокрема, автором пропонується три послідовності дій, які відрізняються часовими затратами. Для читання-запису файлів в усіх трьох послідовностях використовувались стандартні функції Delphi FileRead та FileWrite, виділення пам'яті здійснюється функцією AllocMem, копіювання - CopyMemory, безпосередньо шифрування здійснюється під час виконання (роботи) процедури EncryptBlowFish 1.

Під час роботи першої послідовності дій здійснюється зчитування з вихідного файлу (з дескриптором `FileHandle_1`) блоків по 8 байт до області пам'яті `Buffer` (перемінна-показчик типу `PChar`), після шифрування дані блоки записуються до результуючого (зашифрованого) файлу (з дескриптором `FileHandle_2`).

При другій послідовності до області пам'яті (буферу) `BufferAll` (показчик типу `PChar`) зчитується одразу увесь вихідний файл (`FileHandle_1`), після чого з нього до буферу `Buffer` функцією `CopyMemory` копіюються блоки по 8 байт, які після шифрування копіюються до результуючого буферу `Buffer All Result` (також показчик типу `PChar`), а з нього вже записуються до результуючого файлу (`FileHandle_2`).

Третя послідовність є найбільш простою серед усіх – до буферу `Buffer AP` зчитується одразу увесь вихідний файл (`FileHandle_1`), після шифрування даних безпосередньо в комірках пам'яті цього буферу зашифрована інформація записується до результуючого файлу [16].

О. Войтович та І. Микитюк, досліджуючи методи захисту баз даних, пропонують виділити два шляхи відповідно до рівнів та застосування криптографічних функцій: використання криптографічних функцій для захисту користувацької аутентифікаційної інформації; використання криптографічних функцій для безпосереднього захисту інформації в базах даних.

Алгоритм гешування користувацької інформації передбачає збереження будь-яких аутентифікаційних даних у загешованому вигляді, що захищає їх від зламу таким чином, що зловмисник, отримавши до них доступ, не може їх використати у своїх цілях при подальшому зламі СУБД. Кожен користувач на етапі аутентифікації на одному з рівнів вводить аутентифікаційні дані, після чого вони гешуються, і, в загешованому вигляді порівнюються з даними, які відповідають цьому користувачеві на даному рівні захисту [17].

Для забезпечення цілісності інформації, яка зберігається у базі даних, застосовується технологія `blockchain`, яка є аналогом ланцюга, дані в якому накопичуються і формують постійно зростаючу базу даних [18]. Однією з головних особливостей даної технології є те, що дані, які зберігаються в ланцюгу неможливо видалити чи здійснити заміну/заміщення блока. Нові блоки завжди додаються виключно в кінець ланцюга і кожен наступний блок залежить від попереднього [17].

Дослідники `Iqra Basharat` та `Farooque Azam` відзначили вже три рівні шифрування баз даних: шифрування на рівні зберігання, шифрування на рівні бази даних і шифрування на рівні програми. Так, шифрування на рівні сховища шифрує дані в підсистемі сховища. Воно прозоре, що дозволяє уникнути ризику будь-яких змін в існуючій програмі. При шифруванні на рівні сховища має бути гарантовано, що жодна копія не залишиться незашифрованою. Саме тому, на думку дослідників, є ризикованим вибірково шифрувати дані, наприклад, у тимчасових файлах, журналах тощо. Коли дані зберігаються або відновлюються з бази даних, то виконується шифрування рівня. Тут шифрування можна виконувати з вибірковою деталізацією, з огляду на рядок, стовпець або таблицю. Як для рівня зберігання, так і для рівня бази даних, в стратегії шифрування, ключі шифрування повинні бути доступні стороні сервера для розшифровки даних. Третій рівень шифрування, тобто на рівні програми, виконується в межах додатку.

Крім цього, алгоритм шифрування, розмір ключа та захист ключів – це параметри, що забезпечують безпеку. Чим кращий алгоритм шифрування використовується, тим кращим буде захист.

Авторами зроблено висновок, що шифрування забезпечує конфіденційність, але не дає гарантії цілісності, якщо не використовується якийсь цифровий підпис або функція гешування. Втім відомо, що використання надійних алгоритмів шифрування знижує продуктивність роботи з базою даних [19].

Загалом, на даний час у світі розроблено та використовується багато криптографічних алгоритмів, серед яких: IDEA, Twofish, AES, DES, Triple DES, RC6, SEED, Camellia, CAST-128, XTEA, "ГОСТ 28147-89" та ін. Ці та інші алгоритми використовують різні методи, які мають спільні корені.

Так, симетричне шифрування (або закритий ключ), метод шифрування, при якому один і той самий ключ використовується як для шифрування, так і для дешифрування даних. Відправник використовує ключ і алгоритм для шифрування, а одержувач використовує обидва для розшифрування. І відправник, і одержувач повинні мати ключ, який повинен залишатися приватним.

Асиметричне шифрування (або криптографія з відкритим ключем (РКС)) – метод шифрування, у якому використовуються два різні ключі: один для шифрування, а другий для розшифровки даних (відкритий та закритий ключ). Закритий ключ повинен зберігатися в секреті. Відкритий ключ не становить ризику, якщо він стає відомим.

Ключ – параметр, що визначає функціональний вихід криптографічного алгоритму. Без ключа алгоритм не мав би результату. У шифруванні ключ визначає конкретне перетворення відкритого тексту в зашифрований, або навпаки – під час дешифрування.

Шифр - алгоритм, що використовується для шифрування та дешифрування тексту, а також представлення одиниць відкритого тексту, включаючи: блочний і потоковий шифри. Block Cipher – метод, який шифрує один блок даних за раз. Поточковий шифр – метод, який шифрує один біт, байт або комп'ютерне слово за раз.

Шифрування – це перетворення відкритого тексту в зашифрований за допомогою параметра, який і називається «ключем», і обробка цих елементів за фіксованим алгоритмом для створення зашифрованого тексту, який приховує початкове значення даних. Розшифровка перетворює зашифрований текст у відкритий текст за допомогою криптографічної системи.

Тривалий час в криптографії використовувалися лише алгоритми симетричного шифрування, в яких відправник повинен був передати одержувачу разом із зашифрованим повідомленням і свій секретний ключ, яким було зашифроване це повідомлення, що створювало необхідність наявності закритого каналу для передачі секретного ключа та збільшувало ризики розкриття інформації.

Асиметричні алгоритми шифрування (на відміну від симетричних) використовують пару споріднених ключів – відкритий та секретний. При цьому, незважаючи на пов'язаність ключів у парі, обчислення секретного ключа на основі відкритого вважається технічно неможливим. В асиметричних криптосистемах відкритий ключ може вільно розповсюджуватись, у той час як закритий (приватний) ключ має зберігатись у таємниці [20].

Загалом, алгоритмом шифрування називається формула, яка використовується для перетворення інформації в нечитабельний формат. Сила алгоритму пов'язана з його здатністю максимізувати ентропію замість його секретності. Прикладами деяких алгоритмів є: DES, 3DES, AES, Blowfish і RSA [21].

Так, DES (Стандарт шифрування даних) передбачає розмір ключа 64 біт з розміром блоку 64 біт. 3DES або Triple DES (Потрійний стандарт шифрування даних) є покращенням DES; це 64-бітовий розмір блоку з розміром ключа 192 біта. RC2 — це блочний шифр із 64-бітним блочним алгоритмом зі змінним розміром ключа від 8 до 128 біт. AES (Advanced Encryption Security) — це блочний шифр. Він має змінну довжину ключа 128, 192 або 256 біт; за замовчуванням 256. Він шифрує блоки даних по 128 біт у 10, 12 і 14 раундах залежно від розміру ключа. RC6 - також блочний шифр. Має розмір блоку 128 біт і підтримує розміри ключів 128, 192 і 256 біт. Blowfish — це 64-розрядний блок блочного шифру. Blowfish приймає ключ змінної довжини, починаючи з 32 біт до 448 біт; за замовчуванням 128 біт. Blowfish не запатентований і доступний безкоштовно для будь-

якого використання. Blowfish має варіанти від 14 турів або менше. Twofish – це 128-розрядний блок блочного шифру з ключем змінної довжини (128, 192 або 256 біт). Twofish пов'язаний з більш раннім блочним шифром Blowfish і є незапатентованим безкоштовним програмним забезпеченням [21].

На додаток, у ґрунтовній монографії Christopher Diaz описано та продемонстровано рішення для усунення ризиків цілісності баз даних, включаючи блокування СУБД, блокування таблиць і блокування рядків. Також детально розписано блокування читання та блокування запису, а також описано та продемонстровано концепції блокування оновлень та блокування спільного використання; роз'яснено концепцію тупикового блокування, її ризики для доступності та рішення щодо запобігання [22].

Якщо база даних є зашифрованою, то вона також не застрахована від ризиків. Зокрема, це можуть бути: 1) зловживання з боку адміністратора або інша інсайдерська атака; 2) якщо ключі зберігаються на одному сервері із зашифрованими даними, вони, ймовірно, будуть розкриті одночасно, якщо база даних буде скомпрометована; 3) у випадку застосування ненадійного алгоритму шифрування, може бути підібрано ключ; 4) використання одного ключа для шифрування великої кількості даних є небезпечним з огляду на масштаби втрат у випадку його отримання зловмисниками; 5) користувачі іноді схильні забувати свої паролі, а надійне зберігання ключів – велика проблема.

Отже, шифрування не вирішує всіх проблем безпеки. Зокрема: 1) шифрування не можна використовувати для вирішення проблем контролю доступу; 2) ключі шифрування необхідно регулярно змінювати як частину належної практики безпеки, у цей час база має бути недоступною; 3) необхідно автономно зберігати копію бази даних у віддаленому місці певний проміжок часу; 4) роль адміністратора може бути розділеною на двох і більше осіб з тим, щоб кожен з них не мав повного доступу до всієї бази даних, або ця роль може бути обмеженою лише адмініструванням бази без доступу до самої інформації.

Висновки. Захист бази даних стає все більш складним завданням для організації, бо конфіденційні дані часто стають метою зловмисників. Державні установи, зокрема ті, що віднесені до об'єктів критичної інфраструктури, так само як і приватні компанії з кожним роком витрачають усе більше коштів на їх захист. Однією з обов'язкових вимог до безпеки бази даних є її криптографічне перетворення, яке здійснюється як під час переміщення інформації по мережах так і під час зберігання в сховищі в системах баз даних. Це може запобігти атакам як зовнішніх так і внутрішніх зловмисників. І хоча шифрування бази даних не може подолати всі загрози безпеці, застосування добре налаштованої програми, яка використовує надійний алгоритм, здатне суттєво підвищити цілісність, конфіденційність та доступність інформації бази даних.

Подальше удосконалення та розвиток національної системи криптографічного захисту баз даних потребуватиме узгодженого вирішення питань на законодавчому (нормативно-правовому), загальносистемному, процедурно-функціональному, функціонально-технічному та програмно-технічному рівнях.

Список використаних джерел

1. Про інформацію [Електронний ресурс] : Закон України від 2 жовтня 1992 року № 2657-ХІІ. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2657-12#Text>.
2. Yong Wang. Guangxi Key Laboratory of Cryptography and Information Security / Yong Wang, Jinsong Xi, Tong Cheng // Journal of Information Security. – January 2021. – Vol. 12, No. 1. – DOI: 10.4236/jis.2021.121002.
3. Когут Ю. І. Кібербезпека та ризики цифрової трансформації компаній : практичний посібник / Ю. І. Когут. – К. : Консалтингова компанія «СІДКОН», 2021. – 372 с.
4. Деякі питання об'єктів критичної інфраструктури [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 09.10.2020 р. № 1109. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text>.

5. 2021. Звіт роботи системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки: Оперативний центр реагування на кіберінциденти державного центру кіберзахисту Державної служби спеціального зв'язку та захисту інформації [Електронний ресурс]. – К., TLP:WHITE. – 8 с. – Режим доступу: https://cert.gov.ua/files/pdf/SOC_Annual_Report_2022.pdf.

6. Деякі питання забезпечення функціонування системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 23 грудня 2020 р. № 1295 та Порядок функціонування системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1295-2020-%D0%BF#Text>.

7. Про основні засади забезпечення кібербезпеки України [Електронний ресурс]: Закон України від 05.10.2017 р. № 2163-VIII. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#n56>.

8. Про ратифікацію Конвенції про захист осіб у зв'язку з автоматизованою обробкою персональних даних та Додаткового протоколу до Конвенції про захист осіб у зв'язку з автоматизованою обробкою персональних даних стосовно органів нагляду та транскордонних потоків даних [Електронний ресурс]: Закон України від 06.07.2010 р. № 2438-VI. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2438-17#Text>.

9. Про захист персональних даних [Електронний ресурс]: Закон України від 1 червня 2010 року № 2297-VI. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>.

10. Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) 2016/679 від 27 квітня 2016 року про захист фізичних осіб у зв'язку з опрацюванням персональних даних і про вільний рух таких даних, та про скасування Директиви 95/46/ЄС (Загальний регламент про захист даних) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_008-16#Text.

11. Intelligent IT Distribution: офіційний сайт [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://iitd.com.ua/shifruvannja-ta-zahist-baz-danih>.

12. 2022 (Q1). Звіт роботи системи виявлення вразливостей і реагування на кіберінциденти та кібератаки: Оперативний центр реагування на кіберінциденти державного центру кіберзахисту [Електронний ресурс]. – К.: TLP:WHITE, 2021. – 9 с. – Режим доступу: <https://scpc.gov.ua/api/docs/4eeb6a10-b7aa-4396-8b04-e0e4b7fca1b7/4eeb6a10-b7aa-4396-8b04-e0e4b7fca1b7.pdf>.

13. Борсуковський Ю. В. Прикладні аспекти захисту аутентифікаційних даних / Ю. В. Борсуковський, В. Ю. Борсуковська // Кібербезпека: освіта, наука, техніка. – 2019. – № 3(3). – С. 42-52. – DOI 10.28925/2663-4023.2019.3.4252.

14. Антоненко С. А. Криптографічні основи застосування електронного цифрового підпису в Україні [Електронний ресурс] / С. А. Антоненко // Правова інформатика. – 2013. – № 4(40). – С. 19-28. – Режим доступу: <http://ippi.org.ua/sites/default/files/13asatpu.pdf>.

15. Blowfish [Электронный ресурс] / созд. 33.102.141.21 ; Wikimedia Foundation, Inc. – Электрон, дан. – [б. м.], созд. 5 декабря 2006. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Blowfish>. – Загл. с экрана.

16. Лопін Є. Б. Аналіз часових показників шифрування/дешифрування файлів баз даних медичних інформаційних систем / Є. Б. Лопін // Медична інформатика та інженерія. – 2013. – № 4. – С. 28-35.

17. Войтович О. Метод захисту баз даних шляхом багатозарового користувацького доступу / О. Войтович, І. Микитюк // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання» ІТКМ – 2018. 14-19 травня 2018 р. – Івано-Франківськ – Яремче, 2018. – С. 182-186.

18. Щербань Е. Что такое блокчейн, и как он работает [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://revolverlab.com/how-its-worksblockchain-6d0355c43bfc>.

19. Iqra Basharat. Database Security and Encryption: A Survey Study / Iqra Basharat, Farooque Azam, Abdul Wahab Muzaffar // International Journal of Computer Applications (0975 – 888). – June 2012. – Vol. 47, No. 12. – Pp. 28-34.

20. Антоненко С. А. Криптографічні основи застосування електронного цифрового підпису в Україні / С. А. Антоненко // Правова інформатика. – 2013. – № 4(40). – С. 19-28.

21. Nigm El Sayed. Cryptography and Database Security: Concepts, Compliance Risks and Technical Challenges [Electronic resource] / Nigm El Sayed, El-Rabaie El-Sayed, Faragallah Osama, Mousa, Ayman // ResearchGate. – 2010. – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/263754046_Cryptography_and_Database_Security_Concepts_Compliance_Risks_and_Technical_Challenges.

22. Christopher Diaz. Database Security. Problems and Solution. Mercury Learning and Information. – Dulles, Virginia, Boston, Massachusetts, New Delhi, 2022. – 261 p.

References

1. Pro informatsiiu [On information], Law of Ukraine № 2657-XII (dated October 2, 1992). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2657-12#Text>.
2. Yong Wang, Jinsong Xi, Tong Cheng. (January 2021). Guangxi Key Laboratory of Cryptography and Information Security. *Journal of Information Security*, 12(1). doi: 10.4236/jis.2021.121002.
3. Kohut, Yu.I. (2021). *Kiberbezpeka ta ryzyky tsyfrovoy transformatsii kompanii [Cyber security and risks of digital transformation of companies]*. Konsaltnyhova kompaniia «SIDKON».
4. Deiaki pytannia obiektiv krytychnoi infrastruktury [Some issues of critical infrastructure objects], Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 1109 (dated October 9, 2020). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1109-2020-%D0%BF#Text>.
5. 2021. Zvit roboty systemy vyivlennia vrazlyvosti i reaguvannia na kiberintsydeny ta kiberataky: Operatyvnyi centr reahuvannia na kiberintsydeny derzhavnoho centru kiberzakhystu Derzhavnoi sluzhby specialnoho zviazku ta zakhystu informatsii [2021. Report on the work of the system for detecting vulnerabilities and responding to cyber incidents and cyber attacks: The operational center for responding to cyber incidents of the state cyber protection center of the State Service for Special Communications and Information Protection]. TLP:WHITE. https://cert.gov.ua/files/pdf/SOC_Annual_Report_2022.pdf.
6. Deiaki pytannia zabezpechennia funktsionuvannia systemy vyivlennia vrazlyvosti i reahuvannia na kiberintsydeny ta kiberataky [Some issues of ensuring the functioning of the system for detecting vulnerabilities and responding to cyber incidents and cyber attacks], Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated December 23, 2020 No. 1295 and the Procedure for the functioning of the system for detecting vulnerabilities and responding to cyber incidents and cyber attacks. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1295-2020-%D0%BF#Text>.
7. Pro osnovni zasady zabezpechennia kiberbezpeky Ukrainy [On the main principles of ensuring cyber security of Ukraine], Law of Ukraine № 2163-VIII (dated October 5, 2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2163-19#n56>.
8. Pro ratyfikatsiiu Konventsii pro zakhyst osib u zviazku z avtomatyzovanoi obrobkoiu personalnykh danykh ta Dodatkovoho protokolu do Konventsii pro zakhyst osib u zviazku z avtomatyzovanoi obrobkoiu personalnykh danykh stosovno orhaniv nahliadu ta transkordonnykh potokiv danykh [On the ratification of the Convention on the Protection of Individuals in Connection with Automated Processing of Personal Data and the Additional Protocol to the Convention on the Protection of Individuals in Connection with Automated Processing of Personal Data in relation to supervisory bodies and cross-border data flows]: Law of Ukraine № 2438-VI (dated 06.07.2010). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2438-17#Text>.
9. Pro zakhyst personalnykh danykh [On the protection of personal data], Law of Ukraine № 2297-VI (dated June 1, 2010). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2297-17#Text>.
10. Rehlament Yevropeiskoho Parlamentu i Rady (IeS) 2016/679 vid 27 kvitnia 2016 roku pro zakhyst fizychnykh osib u zviazku z opratsiuvanniam personalnykh danykh i pro vilnyi rukh takykh danykh, ta pro skasuvannia Dyrektyvy 95/46/IeS (Zahalnyi rehlament pro zakhyst danykh) [Regulation of the European Parliament and Council (EU) 2016/679 of April 27, 2016 on the protection of natural persons in connection with the processing of personal data and on the free movement of such data, and on the repeal of Directive 95/46/EC (General Regulation on data protection)]. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_008-16#Text.
11. Intelligent IT Distribution: ofitsiyni sait [Intelligent IT Distribution: official site]. <https://iitd.com.ua/shifruvannja-ta-zahist-baz-danih>.
12. 2022 (Q1). Zvit roboty systemy vyivlennia vrazlyvosti i reahuvannia na kiberintsydeny ta kiberataky: Operatyvnyi tsentr reahuvannia na kiberintsydeny derzhavnoho tsentru kiberzakhystu [2022 (Q1). Report on the work of the system for detecting vulnerabilities and responding to cyber incidents and cyber attacks: Operational center for responding to cyber incidents of the state cyber protection center]. TLP:WHITE. <https://scpc.gov.ua/api/docs/4eeb6a10-b7aa-4396-8b04-e0e4b7fca1b7/4eeb6a10-b7aa-4396-8b04-e0e4b7fca1b7.pdf>.
13. Borsukovskiy, Yu.V., Borsukovska, V.Iu. (2019). Prykladni aspekty zakhystu autentifikatsiinykh danykh [Applied aspects of protection of authentication data]. *Kiberbezpeka: osvita, nauka, tekhnika – Cyber security: education, science, technology*, (3(3)), 42-52. doi: 10.28925/2663-4023.2019.3.4252.
14. Antonenko, S.A. (2013). Kryptohrafichni osnovy zastosuvannia elektronnoho tsyfrovoho pidpysu v Ukraini [Cryptographic basics of using electronic digital signature in Ukraine]. *Pravova informatyka – Legal informatics*, 4(40), 19-28. <http://ippi.org.ua/sites/default/files/13asatpu.pdf>.

15. Blowfish. (2006). <http://ru.wikipedia.org/wiki/Blowfish>.
16. Lopin, Ye.B. (2013). Analiz chasovykh pokaznykiv shyfruvannya/deshyfruvannya failiv baz danykh medychnykh informatsiinykh system [Analysis of time indicators of encryption/decryption of files of databases of medical information systems]. *Medychna informatyka ta inzheneriia – Medical informatics and engineering*, (4), 28-35.
17. Voitovych, O., Mykytiuk, I. (2018). Metod zakhystu baz danykh shliakhom bahatosharovoho korystuvatskoho dostupu [The method of protecting databases by means of multi-layer user access]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Informatsiini tekhnologii ta kompiuterne modeliuвання» ITKM – 2018 – Materials of the International Scientific and Practical Conference "Information Technologies and Computer Modeling" ITKM – 2018* (pp. 182-186).
18. Shcherban, E. (2017). Chto takoe blokchein, y kak on rabotaet [What is blockchain, and how does it work]. <https://revolverlab.com/how-its-worksblockchain-6d0355c43bfc>.
19. Iqra Basharat, Farooque Azam, Abdul Wahab Muzaffar. (2012). Database Security and Encryption: A Survey Study. *International Journal of Computer Applications* (0975 – 888), 47(12), 28-34.
20. Antonenko, S.A. (2013). Kryptohrafichni osnovy zastosuvannya elektronnoho tsyfrovoho pidpysu v Ukraini [Cryptographic basics of electronic digital signature application in Ukraine]. *Pravova informatyka – Legal informatics*, (4(40)), 19-28.
21. Nigm, El Sayed, El-Rabaie, El-Sayed, Faragallah, Osama, Mousa, Ayman. (2010). Cryptography and Database Security: Concepts, Compliance Risks and Technical Challenges. *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/publication/263754046_Cryptography_and_Database_Security_Concepts_Compliance_Risks_and_Technical_Challenges.
22. Christopher Diaz. (2022). *Database Security. Problems and Solution. Mercury Learning and Information*. Dulles, Virginia, Boston, Massachusetts, New Delhi.

Отримано 30.08.2022

UDC 004.65

Maryna Larchenko

PhD in Law, Associate Professor, 2st year undergraduate student, OP Cybersecurity
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: urlinka2006@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2643-980X>

ResearcherID: [X-9681-2018](https://orcid.org/0000-0002-2643-980X)

MODERN PROBLEMS OF CRYPTOGRAPHIC PROTECTION OF DATABASES

In the conditions of growing digitalization of society, the issue of database protection is extremely urgent. Currently, Ukraine is at the stage of introducing European information protection standards, but the software component of its protection also needs further improvement. Information security threats are destruction, modification, blocking, unauthorized access, leakage, disclosure. In particular, cryptographic protection of databases allows preventing access to the information they contain by means of mathematical transformations. It is primarily about prevention of unauthorized modification and unauthorized disclosure of information.

Cryptographic protection of databases can use encryption of data that is stored in a file (after encryption), as well as encryption of directories and files themselves. The approach to database protection should be comprehensive. Therefore, encryption cannot be used to solve access control problems. Encryption keys should be changed regularly as part of good security practices. The database should be unavailable during this time. A copy of the database must be stored offline at a remote location for some time. The administrator role can be split between two or more people so that each person does not have full access to the entire database, or the role can be limited to just administering the database without access to the information itself.

Protecting the database is becoming an increasingly difficult task for an organization, because sensitive data is often the target of attackers. One of the mandatory requirements for database security is its cryptographic transformation, which is carried out both during the movement of information over networks and during storage in database systems. This can prevent attacks from both external and internal attackers. Although, database encryption cannot overcome all security threats, the application of a well-configured program that uses a reliable algorithm can significantly increase the integrity, confidentiality and availability of database information.

Further improvement and development of the national system of cryptographic protection of databases will require a coordinated resolution of issues at the legislative (normative-legal), system-wide, procedural-functional, functional-technical, and software-technical levels.

Key words: database security; personal data protection; cryptographic protection; key; encryption algorithm.

Table: 1. References: 22.

РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-114-125
УДК 677.494

**Юрій Будаш¹, Вікторія Плаван², Наталія Тарасенко³,
Олена Іщенко⁴, Роксолана Петрунько⁵**

¹доктор технічних наук, професор, професор кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон
Київський національний університет технологій та дизайну (Київ, Україна)
E-mail: budash.yo@knutd.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>
ResearcherID: [H-6012-2018](https://orcid.org/0000-0001-8718-1577). SCOPUS Author ID: [9134072100](https://orcid.org/0000-0001-8718-1577)

²доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон
Київський національний університет технологій та дизайну (Київ, Україна)
E-mail: plavan.vp@knutd.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>
ResearcherID: [I-5852-2015](https://orcid.org/0000-0001-9559-8962). SCOPUS Author ID: [6603130130](https://orcid.org/0000-0001-9559-8962)

³асистент кафедри загальної та неорганічної хімії
Національний технічний університет КПІ ім. І. Сікорського (Київ, Україна)
аспірантка кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон
Київський національний університет технологій та дизайну (Київ, Україна)
E-mail: tarasenko.nv@ukr.net. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1062-5533>. ResearcherID: [J-7632-2017](https://orcid.org/0000-0003-1062-5533)

⁴доктор технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон
Київський національний університет технологій та дизайну (Київ, Україна)
E-mail: ishhenko.ov@knutd.com.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>
Researcher ID: [GYV-0809-2022](https://orcid.org/0000-0002-9510-6005). SCOPUS Author ID: [57200013816](https://orcid.org/0000-0002-9510-6005)

⁵магістрант кафедри прикладної екології, технології полімерів і хімічних волокон
Київський національний університет технологій та дизайну (Київ, Україна)
E-mail: ktpthv@knutd.edu.ua

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РОЗМІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТИНОК ГІБРИДНИХ ТА МІНЕРАЛЬНИХ АДСОРБЕНТІВ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ВОДООЧИЩЕННЯ

У роботі виконано порівняльний морфометричний аналіз різних типів вітчизняних адсорбентів, призначених для застосування в технологіях водоочищення. Кількісне оцінювання розмірів частинок адсорбентів проводили методом аналізу цифрових зображень. Визначали площу й периметр окремих частинок та розраховували їхній еквівалентний діаметр і показник форми. Показано, що найбільш прийнятними адсорбентами для процесів водоочищення можна вважати колоїдно-графітовий препарат та глинопорошок монтморилонітового типу, для яких спостерігається висока однорідність розподілу частинок за показником форми. Це, у свою чергу, може забезпечити вищу ефективність сорбції в технологіях водоочищення.

Ключові слова: адсорбент, морфометричний аналіз, еквівалентний діаметр, показник форми, водоочищення.
Рис.: 4. Табл.: 6. Бібл.: 24.

Актуальність теми дослідження. Вода є важливим природним ресурсом для живих організмів на землі, і будь-яке її забруднення має значний негативний вплив на навколишнє середовище. На жаль, індустріалізація та зростання чисельності населення світу призвели до серйозного погіршення якості водних ресурсів. Гірничодобувна, сільськогосподарська, фармацевтична, шкіряна та текстильна промисловість випадково або навмисно вводять різноманітні неорганічні та органічні забруднювачі у водні системи, змінюючи якість води [1; 2]. Крім того, забруднення води стічними водами відбувається через перелив неочищених стічних вод, протікання каналізаційних ліній або частково очищених стічних вод. Надлишок дощу або руйнування каналізаційних ліній, як наслідок, призводить до скидання стічних вод у проточні річкові системи та/або підземні точки водопостачання [3].

Постановка проблеми. Для очищення стічних вод використовуються кілька методів, таких як фільтрація, екстракція розчинником, іонний обмін, хімічне окислення та осадження, коагуляція, флотація, седиментація та мембранний процес [4]. Ефективній роботі кожного методу заважає властивий йому недолік. Наприклад, використання хлору під час хімічного окислення спричиняє неминуче утворення побічних продуктів і викликає корозію металу відповідного обладнання. Незважаючи на те, що для фільтрації потрібен невеликий простір і низький тиск, потреба в енергії дуже висока [5; 6]. Натомість

© Юрій Будаш, Вікторія Плаван, Наталія Тарасенко, Олена Іщенко, Роксолана Петрунько, 2022

процес адсорбції, добре відомий метод для розділення газів та промислового каталізу, протягом останніх років отримав додатковий імпульс для використання в технологіях водоочищення. Процес адсорбції простий у проектуванні та експлуатації. Крім того, процес адсорбції не створює надлишкових побічних продуктів, а тверді матеріали можна регенерувати шляхом термічної десорбції [7].

Природні адсорбенти, такі як вугілля, цеоліти, глина та деревина, використовуються для видалення катіонів, барвників та органічних сполук зі стічних вод [8]. Вибір мінеральних адсорбентів залежить від галузі використання сорбційного матеріалу й визначається складом стічних вод, які підлягають очищенню; експлуатаційною надійністю, можливістю регенерації і повторної переробки, доступністю та вартістю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Відомо використання силікатних мінералів [9] для сорбції деяких важких металів, присутніх у промислових стічних водах. Ці мінерали легкодоступні, недорогі, показують високу сорбційну ємність у порівнянні з іншими мінеральними сорбентами, але вибірково, зокрема сорбційна ємність зменшується в такому порядку: $Cd^{2+} > Cu^{2+} > Zn^{2+} > Ni^{2+}$. Авторами [10] розроблений сорбційний метод вилучення іонів важких металів за допомогою цеоліту із стічних вод з концентрацією їх від 50 до 300 мг/л. Недоліком вказаного методу є різна сорбційна ємність цеоліту щодо різних важких металів. Зокрема, при вилученні Cd сорбується близько 32 % металу, а для Pb ступінь поглинання становить 99 %. Існують численні дослідження, пов'язані з сорбцією іонів важких металів Cu (II), Cd (II), Zn (II), Pb (II), хрому (VI) з використанням активованого вугілля і біовугілля [11,12] отриманих в результаті утилізації сільськогосподарських органічних відходів кукурудзи, соломи та інших культур. Однак ці технології доволі складні для реалізації, потребують використання дорогого устаткування, відрізняються підвищеною енергоємністю і складністю регенерації сорбенту.

Адсорбенти – це пористі матеріали з великою площею поверхні. Розміри пор коливаються від 2-5 нм для мікропор, 5-50 нм для мезопор і 50-100 нм для макропор [1]. Висока пористість забезпечує легкий масообмін матеріалів усередині пор, тобто більш швидку кінетику видалення забруднюючих речовин. Крім пористості, не менше значення для процесів сорбції відіграє дисперсність адсорбенту, а саме розмір і форма частинок та розподіл за цими показниками.

Взаємодія адсорбату і адсорбенту може відбуватися як за участі фізичних, так і хімічних сил. При фізичній адсорбції домінуючими є сили взаємодії Ван-дер-Ваальса; навпаки, хемосорбція передбачає взаємодію адсорбенту з адсорбатом за допомогою хімічних сил (рис. 1).

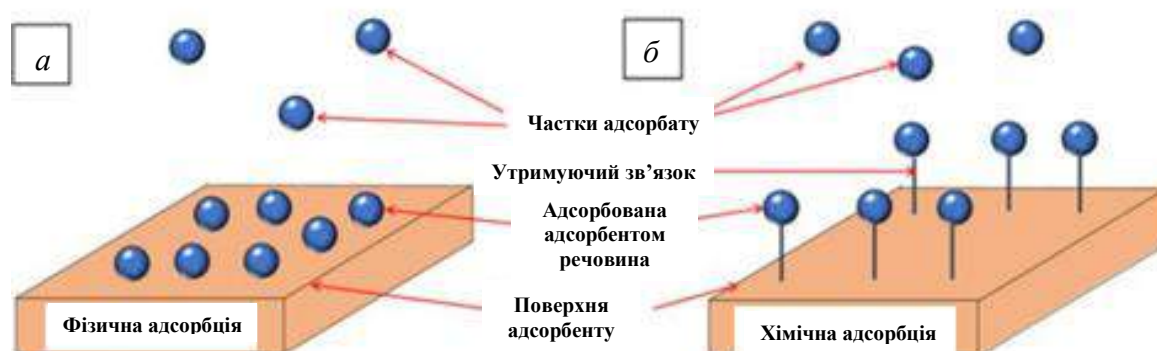


Рис. 1. Схема механізму взаємодії поверхня-адсорбент у процесах:
а – фізичної сорбції; б – хемосорбції [13]

Основною метою виробництва мінеральних адсорбентів, зокрема вуглецевих, є збільшення площі поверхні за рахунок збільшення кількості мікропор, які мають велику адсорбційну здатність. Характеристики пор можуть бути змінені в процесі попередньої обробки сорбентів під час виробництва. Здебільшого виробництво активованого вугілля включає високі температури та додаткову активацію, наприклад, парою, CO₂ або хімічним способом, залежно від характеристик матеріалу. Крім того, твердість та дисперсність активованого вугілля також є іншими важливими факторами його якості, як сорбенту [14]. Завдяки цілеспрямованому впливу на структуру адсорбентів можливе надання їм комплексу нових характеристик, що сприятиме розширенню галузей їх застосування.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. До параметрів, що характеризують структуру адсорбентів відносять: кількість пор та їх об'єм, склад поверхневих функціональних груп та величина питомої поверхні. Завдяки цим параметрам визначається придатність для вирішення питань екологічної безпеки, зокрема, що стосується комплексного очищення стічних вод і газових викидів [15; 16].

Використання адсорбентів різної природи може суттєво розширити можливості цілеспрямованого та тонкого керування структурою та властивостями сорбційних матеріалів, що дозволить цілеспрямовано регулювати їхню фільтрувальну й сорбційну здатність, селективність щодо різних забруднювачів, що сприятиме підвищенню ефективності водоочищення.

Мета дослідження – порівняльний морфометричний аналіз частинок різних типів і марок вітчизняних адсорбентів для обґрунтованого вибору їх застосування в процесах водоочищення.

Викладення основного матеріалу. В роботі були досліджені чотири типи вітчизняних адсорбентів:

1. Вуглецевий адсорбент «*Möbius*» виробництва компанії «Мебіус груп» (МБ). Це новий клас адсорбенту гібридного типу, що складається, в основному, з вуглецю (до 94-97% в перерахунку на беззолний продукт) [17]. Являє собою порошкоподібну речовину чорного кольору з коротковолокнистим армуючим компонентом. Матеріал призначений для сорбційної очистки води та твердих поверхонь від розчинених органічних речовин і нафтопродуктів середньої і високої молекулярної маси, барвників, ПАР і пестицидів і інших речовин. Використовується при ліквідації розливів нафти, для очищення промислових стоків, первинного очищення комунальних стоків методом фільтрації, при виробництві фільтрів високої продуктивності, а також фільтрів малої і середньої продуктивності. Основні характеристики МБ представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Фізико-хімічні властивості адсорбенту МБ

Показник	Значення
Насипна щільність при 20 °С, кг/м ³	345,5
Масова частка золи, %	5,2
Масова частка загальної сірки, %	0,8
Масова частка вологи, %	2,7
рН водної витяжки, рН, од.	4,5
Плавучість, %	98

2. Глинопорошок марки П₁Т₁КА (АТ «Дашуківські бентоніти», Україна) (ГПМ). Відноситься до глин монтморилонітового типу та широко використовується як сорбційний реагент для очищення харчових рідких середовищ, природних, технічних та стічних вод [18]. Основні характеристики ГПМ представлені в табл. 2.

Таблиця 2 – Фізико-хімічні властивості адсорбенту ГПМ

Показник	Значення
Масова частка монтморилоніту, %	85
Масова частка карбонатів у перерахунку на CaCO ₃ , %	7
Масова частка сульфідної сірки, %	0,06
Масова частка заліза в перерахунку на Fe ₂ O ₃ , %	4,6
Залишок на ситі №0071, %	2,1
Масова частка вологи, %	9,4

3. Сажа марки ДГ-100 (ТОВ «Будіндустрія») (СДГ). Дисперсний вуглецевий продукт неповного згоряння або термічного розкладання вуглеводнів. Відносно дешевий і поширений побічний продукт промислових виробництв. Використовується, при очищенні промислових вод від солей важких металів (наприклад, іонів свинцю).

Основні характеристики адсорбенту СДГ представлені в табл. 3.

Таблиця 3 – Фізико-хімічні властивості адсорбенту СДГ

Показник	Значення
Щільність, кг/м ³	1900
Насипна густина, кг/м ³	320
Зольність, %	0,1
Питома умовна поверхня, м ² /г	16
pH водної суспензії	8,5
Маслоємність, г/100г	75

4. Колоїдно-графітовий препарат марки С-1 (ТД «Укрспецмасла») (КГП).

Цей препарат складається з високодисперсного подрібненого порошку натурального графіту. У промисловості застосовується як компонент для приготування графітових сумішей і технологічних мастил, виготовлення хімічного й антикорозійного покриття, як добавка пластифікатора при таблетуванні, як компонент клею для прогумованих тканин, для контактів і резисторів, для інших цілей. Графіт С-1 безпечний і нетоксичний для людини. Основні характеристики адсорбенту КГП представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Фізико-хімічні властивості адсорбенту СДГ

Показник	Значення
Масова частка вуглецю, %	99,3
Масова частка золи, %	0,6
Масова частка сірки, %	0,02
Масова частка нерозчинних в соляній кислоті речовин, %	0,2
Масова частка вологи, %	0,3
Зниження масової частки графіту в водній суспензії після відстоювання протягом 1 години, %	35

Морфометричний аналіз частинок адсорбентів проводили методом оптичної поляризаційної мікроскопії (мікроскоп марки «Біолам»). Мікрофотографії попередньо диспергованих в імерсійній рідині частинок отримували за допомогою цифрової фотокамери «Olytrus» з високороздільною матрицею (10 Мп). На рис. 2 наведено мікрофотографії частинок досліджених адсорбентів.

Кількісне оцінювання розмірів частинок адсорбентів проводили методом аналізу цифрових зображень (програмний пакет «ImageJ») [19]. Визначали площу (S_p) й периметр (P_p) окремих частинок та розраховували їх еквівалентний діаметр ($D_e = (4S_p/\pi)^{0.5}$) і показник форми ($SF = 4\pi \cdot S_p/P_p^2$). Для різних зразків загальне число аналізованих частинок складало від 896 до 11839. Статистичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою програмного пакету «Statistica».

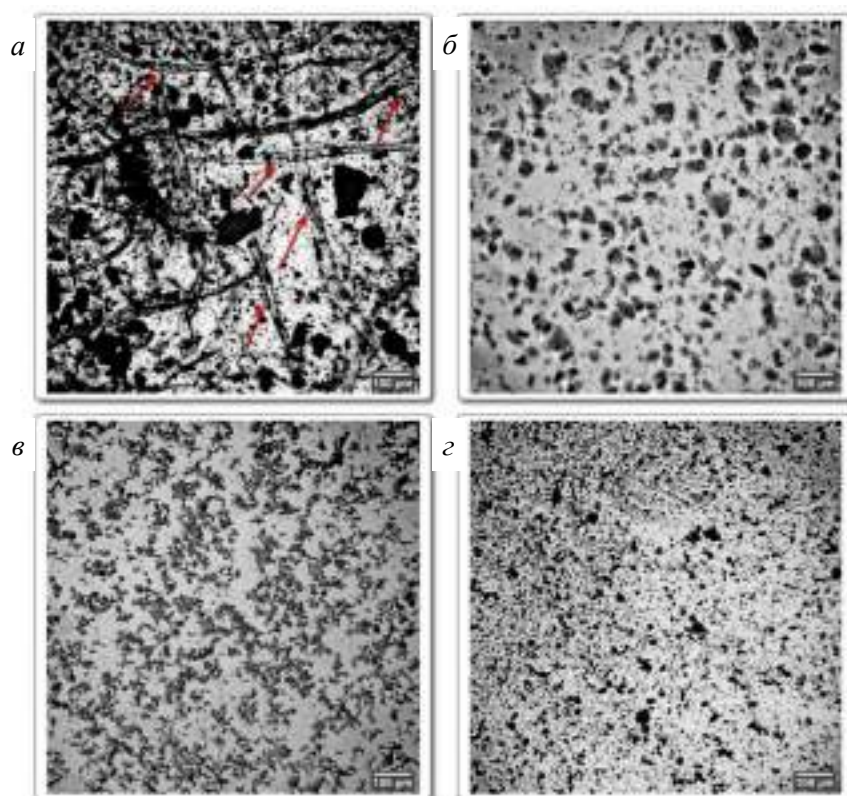


Рис. 2. Мікрофотографії в прохідному світлі частинок досліджених адсорбентів:
а – вуглецевий адсорбент «Möbius»; б – глина марки ПТКА;
в – сажа марки DF-100; г – колоїдно-графітовий препарат марки С-1

Програмними засобами пакету «Statistica» розраховували медіану, як величину, що розташована посередині ранжованого ряду вибірки, та моду, як значення, що трапляється найчастіше в сукупності спостережень. Число спостережень у цьому випадку відповідало кількості частинок, що аналізувались.

Встановлено, що зразки суттєво відрізняються за характером дисперсної структури, розмірними характеристиками частинок та ступенем їх агрегації в імерсійній рідині при мікроскопічних дослідженнях. Для МБ адсорбента (рис. 2, а) спостерігаються два типи частинок: глобулярні вуглецеві з достатньо широким розподілом за розмірами, а також фібрилярні (показано стрілками) з вузьким розподілом за поперечними розмірами (20-30 мкм). Останні мають пласку, стрічкоподібну структуру, з вираженою оптичною анізотропією, що дозволяє віднести їх до природних целюлозних волокон [20; 21]. Ймовірно, їх додавання до вуглецевих частинок мало на меті забезпечити певні текстурні характеристики та часткову зв'язність адсорбенту при його практичному використанні. Зразок адсорбенту СДГ (рис. 2, в) демонструє помітну агрегацію окремих частинок в імерсійній рідині, що може бути пов'язано з їх поверхневими властивостями. Для зразків ГПМ та КГП (рис. 2, б, г) характерний достатньо широкий розподіл частинок за формою та розмірами. Водночас помітної агрегації частинок не спостерігається.

На рис. 3 представлені гістограми розподілу частинок досліджених адсорбентів за еквівалентним діаметром (D_e).

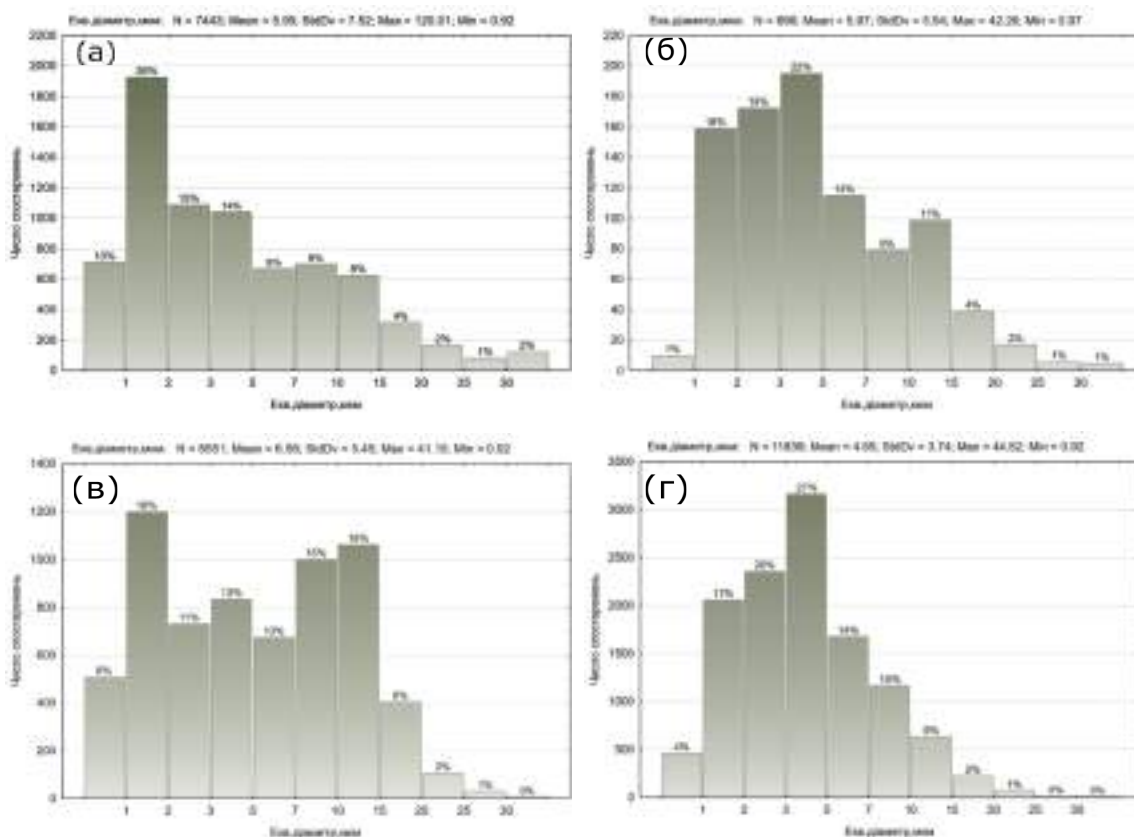


Рис. 3. Гістограми розподілу частинок адсорбентів за еквівалентним діаметром:
 а – вуглецевий адсорбент «Möbius»; б – глина марки ПіТКА;
 в – сажа марки DF-100; г – колоїдно-графітовий препарат марки С-1

З наведених даних можна зробити висновок про те, що для частинок МБ адсорбенту (рис. 3, а) найбільша фракція частинок (~26%) відноситься до достатньо вузького розмірного інтервалу D_e (1-2 мкм). Водночас для ГПМ зразку (рис. 3, б) більша частина аналізованих частинок (~59 %) знаходиться в більш широкому розмірному інтервалі D_e (1-5 мкм). Для СДГ адсорбенту (рис. 3, в) розподіл частинок за еквівалентним діаметром має бімодальний характер. Фракція частинок з розмірами 1-2 мкм складає ~18%. В той же час майже третина частинок (~31 %) відповідає розмірному інтервалу 7-15 мкм. Як зазначалося вище, це може бути свідченням агрегації частинок в імерсійній рідині при мікроскопічних дослідженнях. Зразок КГП (рис. 3, г) демонструє симетричний розподіл частинок за D_e , близький до нормального. Для переважної більшості аналізованих частинок КГП зразка (~64 %) значення D_e відповідає інтервалу 1-5 мкм.

Середні статистичні показники розподілу частинок досліджених зразків адсорбентів за D_e представлені в табл. 5. Узагальнені результати свідчать, що найбільше середньоарифметичне значення еквівалентного діаметру частинок спостерігається для СДГ адсорбенту (6,6 мкм), а найменше – для КГП зразка (4,7 мкм). Для всіх зразків медіанні та модальні значення D_e помітно менше за середньоарифметичні, що свідчить про асиметричність розподілу за цією характеристикою. Для гібридного МБ адсорбенту спостерігаються найбільші значення коефіцієнтів варіації та осциляції, що суттєво перевищують аналогічні значення інших зразків. Це може бути свідченням наявності в ньому двох різних типів частинок.

Таблиця 5 – Статистичні показники розподілу частинок досліджених зразків адсорбентів за еквівалентним діаметром (D_e)

Зразок	Число об'єктів	Середнє значення, мкм	Інт. -95%	Інт. +95%	Медіана, мкм	Мода, мкм	Коеф. варіації, %	Коеф. осциляції
МБ	7443	6,0	5,8	6,1	3,0	0,9	126,4	20,0
ГПМ	896	6,0	5,6	6,3	3,9	1,2	92,8	6,9
СДГ	6551	6,6	6,4	6,7	5,0	0,9	83,2	6,1
КГП	11839	4,7	4,6	4,7	3,6	0,9	80,4	9,4

Поряд з розмірними характеристиками, не меншу роль відіграє й форма частинок адсорбентів. Фактор форми суттєво впливає на питому площу поверхні частинок, а отже визначає ефективність міжфазної взаємодії адсорбенту й адсорбату в робочому процесі.

На рис. 4 представлені гістограми розподілу частинок досліджених адсорбентів за показником форми (SF). Середні статистичні показники розподілу частинок досліджених зразків адсорбентів за показником форми SF представлені в табл. 6.

Таблиця 6 – Статистичні показники розподілу частинок досліджених зразків адсорбентів за показником форми (SF)

Зразок	Число об'єктів	Середнє значення	Інт. -95 %	Інт. +95 %	Медіана	Мода	Коеф. варіації, %	Коеф. осциляції
МБ	7443	0,736	0,731	0,741	0,746	1,000	30,0	1,1
ГПМ	896	0,686	0,674	0,699	0,713	0,967	27,3	1,3
СДГ	6551	0,736	0,732	0,741	0,732	1,000	27,0	1,1
КГП	11839	0,799	0,796	0,803	0,828	1,000	22,5	1,0

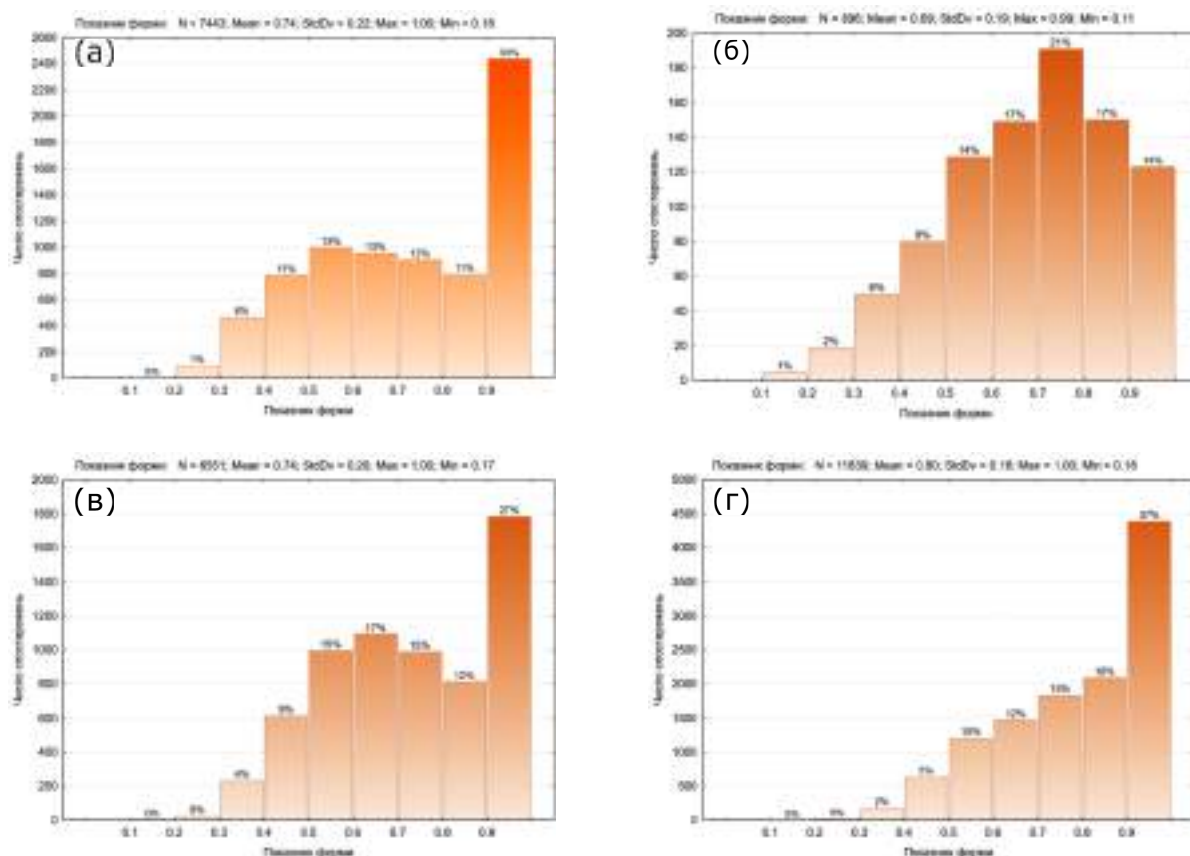


Рис. 4. Гістограми розподілу частинок адсорбентів за показником форми: а – вуглецевий адсорбент «Möbius»; б – глина марки ПТКА; в – сажка марки DF-100; г – колоїдно-графітовий препарат марки С-1

Для всіх досліджених вуглецевих адсорбентів характерний схожий характер розподілу (рис. 4, *a, в, з*). Виражена та найбільша за кількістю фракція (27-37 %) відповідає частинкам з формою близькою до округлої ($SF > 0.9$). В той же час для глинистого адсорбенту ГПМ (рис. 4, *б*) кількість таких частинок більш ніж у 2 рази менша (14 %), а найбільша фракція (21 %) відповідає частинкам з SF в інтервалі 0,7-0,8. Таку помітну анізотричність частинок ГПМ можна пояснити специфічною будовою частинок та агрегатів глинистих мінералів [22; 23].

Статистична обробка підтверджує що найменші значення середньо арифметичних, медіанних та модальних значень SF частинок спостерігається для глинопорошку ГПМ монтморилонітового типу (0,69; 0,71; 0,97, відповідно), що свідчить про їх високу однорідність. Середні значення показника форми та характер розподілу за цим показником для глинопорошку ГПМ можуть вказувати на певну анізотричність частинок. Коефіцієнт варіації показника форми найбільший для МБ зразку (30 %), що свідчить про суттєву неоднорідність адсорбенту за формою частинок. У той же час найменші значення коефіцієнтів варіації (22,5 %) та осциляції (1,0) спостерігаються для зразку колоїдно-графітового препарату КГП, що свідчить про найвищу однорідність розподілу частинок за показником форми для цього типу адсорбенту. Це, в свою чергу може забезпечити вищу ефективність сорбції в технологіях водоочищення. Підтвердженням цьому є отримані авторами результати визначення сорбційних властивостей волокнистих матеріалів, наповнених глиною монтморилонітового типу [24].

Як було зазначено вище, дисперсність адсорбенту визначає активну питому площу поверхні, яка приймає участь в процесах адсорбції. З цієї точки зору, найбільш прийнятними адсорбентами для технологій водоочищення можна визначити колоїдно-графітовий препарат КГП марки С-1 та глинопорошок ГПМ монтморилонітового типу марки П₁Т₁КА.

Висновки. Виконано порівняльний морфометричний аналіз частинок різних типів і марок адсорбентів вітчизняного виробництва. Встановлено, що характер розподілу частинок досліджених типів адсорбентів за еквівалентним діаметром (D_e) залежить від типу зразка, та може ускладнюватися процесами агрегації частинок. Найбільші величини середньоарифметичних та медіанних значень D_e спостерігаються для зразку сажі (6,6 та 5,0 мкм), а найменші – для вуглецевого адсорбенту МБ (6,0 та 3,0 мкм) та колоїдно-графітового препарату КГП (4,7 та 3,6 мкм) зразків.

Показано, що для всіх досліджених вуглецевих адсорбентів характерний схожий характер розподілу за показником форми SF . Виражена та найбільша за кількістю фракція (27-37%) відповідає частинкам з формою, наближеною до округлої ($SF > 0,9$). Водночас для глинопорошку ГПМ монтморилонітового типу кількість таких частинок менша більш ніж у двічі (14 %), а найбільша фракція (21 %) відповідає частинкам з SF в інтервалі 0,7-0,8.

Найбільш прийнятними адсорбентами для процесів водоочищення можна вважати колоїдно-графітовий препарат КГП марки С-1 та глинопорошок ГПМ монтморилонітового типу марки П₁Т₁КА. Для першого зразку спостерігаються найменші значення коефіцієнтів варіації (22,5 %) та осциляції (1,0), що свідчить про найвищу однорідність розподілу частинок за показником форми для цього типу адсорбенту. Це, у свою чергу, може забезпечити вищу ефективність сорбції в технологіях водоочищення.

Використання методу оптичної поляризаційної мікроскопії в поєднанні з морфометричним аналізом частинок дозволяє обґрунтовано підійти до вибору марки адсорбентів для їх застосування в технологіях водоочищення. Подальші дослідження в цьому напрямку можуть бути направлені на процеси поверхневої модифікації частинок адсорбентів для підвищення їх питомої ємності та селективної здатності.

Список використаних джерел

1. Kennedy K. Selected Adsorbents for Removal of Contaminants from Wastewater: Towards Engineering Clay Minerals / K. Kennedy, K. Maseka and M. Mbulo // *Open Journal of Applied Sciences*. – 2018. – № 8. – Pp. 355-369. – Accede mode: <https://doi.org/10.4236/ojapps.2018.88027>.
2. Kümmerer K. The Presence of Pharmaceuticals in the Environment Due to the Human Use / K. Kümmerer // *Journal of Environmental Management*. – 2009. – № 90. – Pp. 2354-2366. – Accede mode: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.023>.
3. Pedersen T. Contamination of Water and Soil by Sewage and Water Treatment Sludge / T. Pedersen. – 1997. – Accede mode: <http://extoxnet.orst.edu/faqs/safedrink/sewage.htm>.
4. Ali M. E. Conventional to Nano-Green Adsorbents for Water Pollution Management: A Review / M. E. Ali, M. Ullahb, S.B.A. Hamid // *Advanced Materials Research*. – 2014. – № 925. – Pp. 674-678. – Accede mode: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.925.674>.
5. Barakat M. New Trends in Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. [Electronic resource] / M. Barakat // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2011. – № 4. – Pp. 361-377. – Accede mode: <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019>.
6. Gupta V. K. Application of Low-Cost Adsorbents for Dye Removal – A Review / V. K. Gupta and Suhas // *Journal of Environmental Management*. – 2009. – № 90. – Pp. 2313-2342. – Accede mode: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>.
7. Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process / M. Grassi, G. Kaykioglu, V. Belgiorno, G. Lofrano // *Emerging Compounds Removal from Wastewater*, Springer, Dordrecht. – 2012. – Pp. 15-37. – Accede mode: https://doi.org/10.1007/978-94-007-3916-1_2.
8. Bhatnagar A. Conventional and Non-Conventional Adsorbents for Removal of Pollutants from Water [Electronic resource] / A. Bhatnagar, A. Minocha // *Indian Journal of Chemical Technology*. – 2006. – № 13. – Pp. 203-217. – Accede mode: <http://nopr.niscpr.res.in/bitstream/123456789/7020/1/IJCT%2013%283%29%20203-217.pdf>.
9. Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite / M. Karnib, A. Kabbani, H. Holail, Z. Olama // *Energy Procedia*. – 2014. – № 50. – Pp. 113-120. – Accede mode: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>.
10. Sabry M. Shaheen. Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Zeolite in Competitive Sorption System / Sabry M. Shaheen, Aly S. Derbalah, Farahat S. Moghanm // *International Journal of Environmental Science and Development*. – 2012. – Vol. 3. – № 4. – Pp. 362-367. – Accede mode: <https://doi.org/10.7763/IJESD.2012.V3.248>.
11. Duan C. Removal of heavy metals from aqueous solution using carbon-based adsorbents: a review / C. Duan, T. Ma, J. Wang, Y. Zhou // *Journal of Water Process Engineering*. – 2020. – № 101339. – Vol. 37. – Accede mode: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101339>.
12. Kołodzinska D. Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon / Kołodzinska D., Krukowska J., Thomas P. // *Chemical Engineering Journal*. – 2017. – № 307. – Pp. 353-363. – Accede mode: <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.088>.
13. Asep Nandiyanto. Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste / Asep Nandiyanto, Gabriela Chelvina, Santiuly Girsang, Rina Maryanti et al. // *Communications in Science and Technology*. – 2020. – № 5(1). – Pp. 31-39. – Accede mode: <http://dx.doi.org/10.21924/cst.5.1.2020.176>.
14. Activated Carbon Production From Coconut Shell and Palm Kernel Shell [Electronic resource] // *Biomass Industrial Innovative Projects*. – 2017. – Accede mode: <http://biomassproject.blogspot.com/2017/02/activated-carbon-production-from.html>.
15. Adsorption extraction of chromium ions (III) with the help of bentonite clays / M. Malovanyy, O. Palamarchuk, I. Trach, H. Petruk, H. Sakalova, K. Soloviy, ... & N. Vronska // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – № 21(7). – Pp. 178-185. – Accede mode: <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/125545>.
16. Preparation of Environmentally Friendly Adsorbent Using Oil Palm Boiler Ash, Bentonite and Titanium Dioxide Nanocomposite Materials [Electronic resource] / N. Bukit, E. M. Ginting, E. Frida & B. F. Bukit // *Journal of Ecological Engineering*. – 2020. – № 23(12). – Pp. 75-82. – Accede mode: <https://doi.org/10.12911/22998993/155020>.

17. Ecology, Science, Efficiency, Möbius [Electronic resource]. – Accede mode: <http://www.mobius.ua/en/index.html>.
18. PJSC “Dashukivsky Bentonites” – a leading Ukrainian manufacturer of products from bentonite and paligorskite clays. – Accede mode: <http://dash-bent-pjsc.com>.
19. Pérez J. M. M. Image processing with ImageJ [Electronic resource] / Pérez J. M. M., Pascau J. // Packt Publishing Ltd. – 2013. – Accede mode: [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjet55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2168809](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjet55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2168809).
20. Порівняльний аналіз розмірних характеристик недеревних волокон різної природи / Ю. О. Будаш, Є. В. Кучеренко, В. П. Плаван, Я. В. Фещенко, О. І. Верейко // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2018. – № 118(1). – Рр. 43–50. – DOI: 10.30857/1813-6796.2018.1.5.
21. Вплив процесу механічної переробки природних волокон на їх розмірні характеристики / Ю. О. Будаш, Є. В. Кучеренко, В. П. Плаван, В. О. Создана // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2018. – № 6(2). – Рр. 43–50. – DOI: 10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-115-120.
22. Bergaya F. Handbook of clay science [Electronic resource] / F. Bergaya, G. Lagaly // Newnes. – 2013. – Accede mode: <https://www.elsevier.com/books/handbook-of-clay-science/bergaya/978-0-08-099364-5>.
23. Визначення розмірних характеристик частинок глинопорошків як нанонаповнювачів полімерних композицій / Ю. О. Будаш, В. І. Ступа, М. В. Лубська, К. В. Пушкаренко, І. П. Силенок // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія Технічні науки. – 2019. – № 138(5). – Рр. 122-131. – Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.30857/1813-6796.2019.5.14>.
24. Дослідження сорбційних властивостей волокнистих матеріалів, модифікованих глинистими мінералами [Електронний ресурс] / Н. В. Тарасенко, В. П. Плаван, Ю. О. Будаш, І. М. Ткаченко // Технології та інжиніринг. – 2021. – № 140(3). – С. 70-78. – Режим доступу: <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7>.

References

1. Kennedy, K., Maseka, K. and Mbulo, M. (2018). Selected Adsorbents for Removal of Contaminants from Wastewater: Towards Engineering Clay Minerals. *Open Journal of Applied Sciences*, 8, 355-369. <https://doi.org/10.4236/ojapps.2018.88027>.
2. Kümmerer, K. (2009). The Presence of Pharmaceuticals in the Environment Due to the Human Use. *Journal of Environmental Management*, 90, 2354-2366. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.01.023>.
3. Pedersen, T. (1997). Contamination of Water and Soil by Sewage and Water Treatment Sludge. <http://extoxnet.orst.edu/faqs/safedrink/sewage.htm>.
4. Ali, M.E., Ullahb, M. and Hamid, S.B.A. (2014). Conventional to Nano-Green Adsorbents for Water Pollution Management: A Review. *Advanced Materials Research*, 925, 674-678. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.925.674>.
5. Barakat, M. (2011). New Trends in Removing Heavy Metals from Industrial Wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, 4, 361-377. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2010.07.019>.
6. Gupta, V.K., & Suhas (2009). Application of Low-Cost Adsorbents for Dye Removal – A Review. *Journal of Environmental Management*, 90, 2313-2342. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.017>.
7. Grassi, M., Kaykioglu, G., Belgiorno, V., & Lofrano, G. (2012). Removal of Emerging Contaminants from Water and Wastewater by Adsorption Process. *Emerging Compounds Removal from Wastewater*, Springer, Dordrecht, 15-37. https://doi.org/10.1007/978-94-007-3916-1_2.
8. Bhatnagar, A. and Minocha, A. (2006). Conventional and Non-Conventional Adsorbents for Removal of Pollutants from Water. *Indian Journal of Chemical Technology*, 13, 203-217. <http://nopr.niscares.in/bitstream/123456789/7020/1/IJCT%2013%283%29%20203-217.pdf>.
9. Karnib, M., Kabbani, A., Holail, H., & Olama, Z. (2014). Heavy metals removal using activated carbon, silica and silica activated carbon composite. *Energy Procedia*, 50, 113–120. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.014>.

10. Sabry, M., Shaheen, Aly S., Derbalah, Farahat S., Moghanm. (2012). Removal of Heavy Metals from Aqueous Solution by Zeolite in Competitive Sorption System. *International Journal of Environmental Science and Development*, 3(4). <https://doi.org/10.7763/IJESD.2012.V3.248>.
11. Duan, C., Ma, T., Wang, J., Zhou, Y. (2020). Removal of heavy metals from aqueous solution using carbon-based adsorbents: a review. *J. Water Process Eng.*, 37, 101339. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101339>.
12. Kołodzinska, D., Krukowska, J., & Thomas, P. (2017). Comparison of sorption and desorption studies of heavy metal ions from biochar and commercial active carbon. *Chemical Engineering Journal*, 307, 353–363. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.08.088>.
13. Rina Maryanti at all (2020). Isotherm adsorption characteristics of carbon microparticles prepared from pineapple peel waste Asep Nandiyanto, Gabriela Chelvina Santiuly Girsan. *Communications in Science and Technology*, 5(1), 31-39. <http://dx.doi.org/10.21924/cst.5.1.2020.176>.
14. Biomass Industrial Innovative Projects. (2017). *Activated Carbon Production From Coconut Shell and Palm Kernel Shell*. <http://biomassproject.blogspot.com/2017/02/activated-carbon-production-from.html>.
15. Malovanyy, M., Palamarchuk, O., Trach, I., Petruk, H., Sakalova, H., Soloviy, K., ... & Vronska, N. (2020). Adsorption extraction of chromium ions (III) with the help of bentonite clays. *Journal of Ecological Engineering*, 21(7). <http://dx.doi.org/10.12911/22998993/125545>.
16. Bukit, N., Ginting, E. M., Frida, E., & Bukit, B. F. (2022). Preparation of Environmentally Friendly Adsorbent Using Oil Palm Boiler Ash, Bentonite and Titanium Dioxide Nanocomposite Materials. *Journal of Ecological Engineering*, 23(12), 75-82. <https://doi.org/10.12911/22998993/155020>.
17. Ecology, Science, Efficiency, Möbius. URL: <http://www.mobius.ua/en/index.html>.
18. PJSC “Dashukivsky Bentonites” – a leading Ukrainian manufacturer of products from bentonite and paligorskite clays]. <http://dash-bent-pjsc.com>.
19. Pérez, J. M. M., & Pascau, J. (2013). Image processing with ImageJ. Packt Publishing Ltd. [https://www.scirp.org/\(S\(lz5mqp453edsnp55rrgjet55.\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2168809](https://www.scirp.org/(S(lz5mqp453edsnp55rrgjet55.))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2168809).
20. Budash, Yu. O., Kucherenko, Ye. V., Plavan, V. P., Feshchenko, Ya. V., & Vereiko, O. I. (2018). Porivnialnyi analiz rozmirnykh kharakterystyk nederevnykh volokon riznoi pryrody [The influence of the process of mechanical processing of natural fibers on their dimensional characteristics]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriya Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series Technical sciences*, 118(1), 43-50. DOI: 10.30857/1813-6796.2018.1.5.
21. Budash, Yu. O., Kucherenko, Ye. V., Plavan, V. P., Sozdana, V. O. (2018). Vplyv protsesu mekhanichnoi pererobky pryrodnykh volokon na yikh rozmirni kharakterystyky [The influence of the process of mechanical processing of natural fibers on their dimensional characteristics]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences*, (6(2)), 115-120. doi: 10.31891/2307-5732-2018-267-6(2)-115-120.
22. Bergaya, F., & Lagaly, G. (2013). Handbook of clay science. Newnes. <https://www.elsevier.com/books/handbook-of-clay-science/bergaya/978-0-08-099364-5>.
23. Budash, Yu. O., Stupa, V. I., Lubska, M. V., Pushkarenko, K. V., & Sylenok, I. P. (2019). Vyznachennia rozmirnykh kharakterystyk chastynok hlynoporoshkiv yak nanonapovniuvachiv polimernykh kompozytsii [Determination of dimensional characteristics of clay powder particles as nanofillers of polymer compositions]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dyzainu. Seriya Tekhnichni nauky – Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series Technical sciences*, 138(5), 122-131. <http://dx.doi.org/10.30857/1813-6796.2019.5.14>.
24. Tarasenko, N.V., Plavan, V.P., Budash, Yu.O., Tkachenko, I.M. (2021). Doslidzhennia sorbtsiinykh vlastyvostei voloknystykh materialiv, modyfikovanykh hlynystymy mineralamy [Investigation of sorption properties of fibrous materials modified with clay minerals]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh – Technology and engineering*, 140(3), 70-78. <https://doi.org/10.30857/2786-5371.2021.3.7>.

Отримано 24.09.2022

**Yurii Budash¹, Viktoriia Plavan², Natalia Tarasenko³,
Olena Ishchenko⁴, Roksolana Petrunko⁵**

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers

Kyiv National University of Technology and Design (Kyiv, Ukraine)

E-mail: budash.yo@knutd.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8718-1577>

ResearcherID: [H-6012-2018](https://orcid.org/0000-0001-8718-1577). SCOPUS Author ID: [9134072100](https://orcid.org/0000-0001-8718-1577)

²Doctor of Technical Sciences, Professor,

Head of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers

Kyiv National University of Technology and Design (Kyiv, Ukraine)

E-mail: plavan.vp@knutd.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9559-8962>

ResearcherID: [I-5852-2015](https://orcid.org/0000-0001-9559-8962). SCOPUS Author ID: [6603130130](https://orcid.org/0000-0001-9559-8962)

³Assistant of the Department of General and Inorganic Chemistry

KPI National Technical University named after I. Sikorskyi (Kyiv, Ukraine)

graduate student of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers

Kyiv National University of Technology and Design (Kyiv, Ukraine)

E-mail: tarasenko.nv@ukr.net. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1062-5533>. ResearcherID: [I-7632-2017](https://orcid.org/0000-0003-1062-5533)

⁴Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers

Kyiv National University of Technology and Design (Kyiv, Ukraine)

E-mail: ishhenko.ov@knutd.com.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9510-6005>

Researcher ID: [GYV-0809-2022](https://orcid.org/0000-0002-9510-6005). SCOPUS Author ID: [57200013816](https://orcid.org/0000-0002-9510-6005)

⁵Master's Student of the Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers

Kyiv National University of Technology and Design (Kyiv, Ukraine)

E-mail: ktpthv@knutd.edu.ua

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIMENSIONAL CHARACTERISTICS FOR PARTICLES OF HYBRID AND MINERAL ADSORBENTS FOR WATER PURIFICATION PROCESSES

In the work, a comparative morphometric analysis of various types of domestic adsorbents intended for use in water purification technologies is performed. Four types of adsorbents were investigated: «Möbius» carbon adsorbent, P₁T₁KA clay powder of the montmorillonite type, DG-100 carbon black, C-1 colloidal graphite preparation.

Morphometric analysis of adsorbent particles was carried out by the method of optical polarization microscopy («Biolam» brand microscope). Photomicrographs of particles pre-dispersed in the immersion liquid were obtained using a digital camera with a high-resolution matrix. Quantitative assessment of the sizes of adsorbent particles was carried out by the method of digital image analysis (ImageJ software package). The area and perimeter of individual particles were determined and their equivalent diameter and shape index were calculated. Statistical processing of experimental data was carried out using the «Statistica» software package.

It was established that the nature of the distribution of particles of the investigated types of adsorbents in terms of equivalent diameter depends on the type of sample, and may be complicated by the processes of particle aggregation.

It is shown that a similar nature of distribution is observed for all investigated carbon adsorbents according to the shape index. The pronounced and largest fraction (27-37%) corresponds to particles with a shape close to round. The most acceptable adsorbents for water purification processes can be considered a colloidal graphite preparation and clay powder of the montmorillonite type, for which there is a higher homogeneity of the distribution of particles according to the shape indicator. This, in turn, can provide higher sorption efficiency in water treatment technologies.

The application of the method of optical polarization microscopy in combination with the morphometric analysis of particles makes it possible to reasonably approach the selection of the brand of adsorbents for their use in water purification technologies. Further research in this direction can be directed to the processes of surface modification of adsorbent particles to increase their specific capacity and selective ability.

Keywords: adsorbent; morphometric analysis; equivalent diameter; shape index; water treatment.

Fig.: 4. Table: 6. References: 24.

**Жанна Замай¹, Оксана Гуменюк², Олена Хребтань³,
Сергій Пономаренко⁴, Констянтин Іваненко⁵**

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: zamaizhanna@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-4677>. ScopusID: [6506101557](https://orcid.org/0000-0003-2879-4677); [6506148493](https://orcid.org/0000-0003-2879-4677)

²кандидат хімічних наук, доцент кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: gum_ok@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1873-0661>

ResearcherID: [F-9471-2016](https://orcid.org/0000-0003-1873-0661). ScopusID: [9839040200](https://orcid.org/0000-0003-1873-0661)

³кандидат технічних наук, завідувач кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: olenaborisovnahrebtan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1873-0661>

⁴кандидат економічних наук, завідувач кафедри публічного управління та менеджменту організацій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: pon63serg@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0714-7972>. ResearcherID: [J-4914-2016](https://orcid.org/0000-0003-0714-7972)

⁵кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)
E-mail: sapr121@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9940-6523>. ScopusID: [57196196416](https://orcid.org/0000-0002-9940-6523)

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ ТА ВИМОГИ ЩОДО ЇХ БЕЗПЕЧНОСТІ В КРАФТОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ ПИВА

У роботі експериментально досліджено та обґрунтовано можливість використання доступних на ринку ферментних препаратів з метою оптимізації процесу фільтрації крафтового пива. Застосування ферментних препаратів дає змогу прискорити технологічний цикл виробництва, отримати готову продукцію з високими показниками колоїдної стійкості. Досліджено та оцінено вплив ферментних препаратів *Laminex® MAX Flow 4G*, *Amylex 5T*, *Beerzym® AMYL HT*, *Beerzym® BG*, *EnerZyme® P7* на процес фільтрації суслу шляхом визначення вмісту екстрактивних речовин у пивній дробині в умовах пивної майстерні «*Bierwelle*». У роботі представлено вимоги безпечності до ферментних препаратів, що використовуються у пивоварних виробництвах.

Ключові слова: ферментні препарати; пивоваріння; крафтове виробництво; екстрактивність дробини; колоїдна стійкість, безпечність.

Табл.: 1. Бібл.: 22.

Актуальність теми дослідження. Більшість проблем, які виникають у пивній промисловості, пов'язані з технологічними процесами. Зокрема, це проблеми, пов'язані: з якістю оцукрювання затору; значним залишком екстрактивних речовин у дробині; недостатньо інтенсивним і глибоким зброджуванням; із фільтруванням пива; його колоїдною стабільністю. Перед подібними проблемами постають й крафтові виробництва. Сьогодні спостерігається деяка трансформація поняття крафтових технологій. Якщо на початку створення крафтових пивоварень в Україні передбачалося застосування у виробництві пива тільки класичних, традиційних рецептур, то нині споживачі потребують різноманіття пивних смаків, розширення асортименту пропонованої продукції, що вимагає креативного підходу до сировини і технологій у виробництві пива. Застосування ферментних препаратів (ФП), які ефективно використовуються на великих пивоварних заводах може стати одним з напрямів вдосконалення процесу пивоваріння і на крафтових підприємствах. Саме тому дослідження ефективності застосування ФП, доступних на ринку України, в умовах крафтового пивоварного виробництва є актуальним.

Постановка проблеми. Застосування ФП у пивоварінні дозволяє ефективніше провести гідроліз білків та полісахаридів солоду, що призводить до збільшення його екстрактивності. На ринку України представлена чимала кількість ферментних препаратів закордонного виробництва, вартість яких є високою, тому необхідним етапом є проведення оцінки ефективності і доцільності їх застосування.

З урахуванням актуальності проблеми в умовах крафтового виробництва проведення такого оцінювання варто здійснювати для кожного ферментного препарату чи їх комбінації для вибраного етапу пивоваріння з урахуванням конкретного виду пива й пивоварні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою проведення глибшого гідролізу полімерів солоду і, відповідно, збільшення його екстрактивності, збільшення виходу готового продукту і підвищення колоїдної стійкості пива в пивоварінні, крім ферментних систем солоду, застосовують ферментні системи й іншого походження, наприклад, мікробного. Ферментні препарати містять цитолітичні, протеолітичні й амілолітичні ферменти, не впливають на смакові якості пива, їх легко дозувати та вони є надзвичайно ефективними. Більшість ФП є комплексними, тобто, крім основного містять ще й супутні ферменти. Ферменти відіграють лише допоміжну роль у технологічному процесі, не впливають на органолептичні показники одержаного продукту [1; 2]. ФП використовують для покращення технологічного процесу та корекції солоду низької якості. За їх допомоги покращують процес фільтрації пива, зменшують час оцукрювання, підвищують стійкість пива, подовжують його термін зберігання та інше [3; 4].

Забезпечення якості харчової продукції і пива, зокрема, неможливе без гарантування безпечності цієї продукції. В Україні на законодавчому рівні прийняті обов'язкові вимоги щодо впровадження та постійного застосування на підприємствах харчової промисловості процедур із забезпечення безпечності харчової продукції, заснованих на принципах Міжнародної системи НАССР, зокрема, у таких документах:

1. Закон України № 771 «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» [5].

2. Закон України № 2042 «Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин» [6].

3. Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 590 від 01.10.2012 «Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР)». Зі змінами, внесеними згідно з Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства № 429 від 17.10.2015 [7].

На ринку України з'являються все нові ФП, тривають дослідження щодо їх впливу на технологічний процес та з'ясування безпечності їх використання. Так, для можливого використання мікробних ФП в біотехнологічних процесах вони повинні відповідати певним вимогам. Ці вимоги стосуються складу ферментативного комплексу, оптимальних умов їх дії (рН, температура), ступеня очищення, величини активності, вмісту наповнювача, вартості та ряду інших факторів [8].

У ході дослідження [9] вдалося з'ясувати, що використання ФП Nuytemphase у процесі затирання дає змогу збільшити вміст екстрактивних речовин та мальтози в суслі, зменшити його в'язкість, а отже, поліпшити якість пива, зменшити тривалість фільтрування, пришвидшити процес зброджування пивного сусла, контролювати його склад [9]. Встановлено, що, зважаючи на високу термостабільність ФП Nuytemphase, він дає змогу здійснювати процес затирання за високих температур, тоді як власні ферменти солоду можуть бути вже інактивованими.

Авторами [10] досліджено вплив ферментного препарату «Церемікс» на час оцукрювання, густину та час фільтрації сусла пива «Прикарпатське», «Данило Галицький» та «Янтарне». Встановлено, що в результаті додавання препарату знижується в'язкість сусла та збільшується його вихід приблизно на 5 %, скорочується стадія фільтрації, підвищується продуктивність сусліваріння на 16 %. Під час введення препарату в готове пиво збільшується його колоїдна стійкість, а піностійкість не змінюється. Ферментний препарат не погіршує якість продукту. А в результаті додавання комплексу препаратів «Фунгаміл» та «Матурекс» під час бродіння вказаних марок пива процес скорочується на 1...2 доби. Якість готового виробу при цьому не змінюється, а технологічні показники виробництва покращуються.

Проведені авторами [11] дослідження впливу додавання ферментних препаратів Viscoferm та Brewtan C на стадії бродіння для підвищення стійкості пива довели доцільність використання Viscoferm – збалансованої суміші ксиланази, β -глюканази, амілази, целюлази та протеази, виробленої на основі культивування штамів роду *Aspergillus* та *Trichoderma*. Експериментально була досліджена оптимальна доза внесення препарату – 0,02 г/дал. Авторами роботи встановлено, що додавання ФП Viscoferm в концентраціях 0,02 – 0,04 г/дал на стадії ферментації також позитивно впливає на динаміку збродження. Доведено, що його використання доцільніше ніж галотаніну Brewtan C на стадії бродіння. Аналіз досліджень одержаного пива показав кращі фізико-хімічні властивості в порівнянні з контрольним зразком та зразком з добавкою галотаніну; одержаний зразок заслужив також і на високу органолептичну оцінку.

Дослідження комплексного ферментного препарату Viscoferm продовжено у роботі [12] та встановлено, що кращим зразком є пиво, стабілізоване шляхом добавки комплексних ферментів Viscoferm на стадії фільтрування затору. Цей зразок пива має найнижчий таніновий показник, що вказує на найменшу кількість білків, здатних до утворення помутнінь в ньому в процесі зберігання.

Вплив ферментних препаратів на технологічний процес і якість одержаного продукту вивчалась і в роботі [13]. Причому автори вводили ФП Brewers Clarex в сусло перед початком головного бродіння, а по закінченні фільтрування – ФП Profix. Обране дозування дозволяє прискорити технологічний цикл виробництва і отримати готову продукцію з високими показниками колоїдної стійкості. Цікаво, що на відміну від більш ранніх даних автори [13] на основі результатів проведеної дегустації встановили, що зразки готового пива, одержані з застосуванням ферментних препаратів мають кращі органолептичні властивості, а у оптимальній концентрації – найвищу дегустаційну оцінку. І метою наступної роботи [14] було дослідити, яким чином ферментні препарати впливають на колоїдну стійкість пива та безпосередньо на органолептичні показники готової продукції. Встановлено, що застосування ферментних препаратів у співвідношенні 0,175 г/дал Brewers Clarex (перед збродженням і дозріванням) і 0,2 г/дал Profix 6500 (перед розливом) дасть змогу прискорити технологічний цикл виробництва, отримати готову продукцію з високими показниками колоїдної стійкості.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питанням ефективності застосування ферментних препаратів в пивоварінні приділяється значна увага, однак переважно дослідження стосуються впливу ФП на якість (термін придатності) готового напою, а застосування ФП в умовах крафтових виробництв з метою збільшення виходу продукту за рахунок додаткового розрідження сусла не проводилось. Зокрема, відсутні такі відомості щодо використання ферментних препаратів Laminex® MAX Flow 4G, Amylex 5T, Beerzym AMYL HT, Beerzym®, EnerZyme® P7.

Метою статті є теоретичне і експериментальне обґрунтування використання ферментних препаратів у процесі виробництва пива «Десятка» на пивній майстерні "Bierwelle", що буде сприяти зменшенню втрат активних речовин солоду під час фільтрації пива і подовженню терміну зберігання готового продукту.

Виклад основного матеріалу. В роботі вивчали вплив додавання ферментних препаратів на екстрактивність дробини в технології пива «Десятка» пивної майстерні "Bierwelle" – першого крафтового виробництва з пивоваріння в м. Чернівці та безпечність їх застосування.

Для недопущення загрози безпеці харчової продукції, що виробляється на крафтовому підприємстві, застосовується Міжнародна система HACCP (Hazard Analysis Control Critical Points).

У результаті запровадження системи НАССР на виробництві, передбачається ведення безперервного контролю харчового ланцюга щодо виявлення, контролю та ліквідації небезпечних чинників від перевірки безпечності сировини до оцінювання безпечності готової продукції – «від лану – до столу», що є головною концепцією системи НАССР.

У проведеному нами дослідженні, одним із суттєвих ризиків під час виробництва пива є застосування ферментів. Ферментні препарати, що застосовувалися в дослідженні, є сировиною, а точніше, технологічною добавкою, яка вводилася для поліпшення технологічних процесів пивоваріння, якості та збільшення обсягів готової продукції.

Тому дуже важливим є забезпечення ферментів, які використовувалися у наукових дослідженнях Laminex® MAX Flow 4G, Amylex 5T, Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG, EnerZyme® P7, Сертифікатами відповідності, Гігієнічними Сертифікатами тощо. Тобто, всі сировинні інгредієнти, які застосовуються у виробництві крафтового пива, повинні мати документальне підтвердження своєї безпеки. Це необхідно для організації на виробництві належного дозування, підготовки до технологічного процесу та забезпечення умов зберігання ферментів.

За рекомендаціями виробників ФП дозуються у невеликій кількості від 0,001 до 0,075 % до маси сировини [15–19]. ФП допускаються до застосування відповідно до чинних законодавчих норм, зокрема [20]. Для аналізу можливості позитивного впливу на технологічний процес вивчались такі ФП:

LAMINEX® MaxFlow 4G – це пивоварний фермент, розроблений для забезпечення високої стабільної продуктивності без шкоди для якості пива незалежно від якості сировини [15].

Відповідно до інформації розробників, він створений на основі високоспецифічних ксиланаз і β -глюканаз, LAMINEX® MaxFlow 4G значно покращує розділення сусла та фільтрацію пива. Фермент мінімізує ризик руйнування шару фільтру завдяки високій селективності щодо водорозчинних арабіноксиланів. LAMINEX® MaxFlow 4G дуже ефективний у зниженні високомолекулярного β -глюкану в усіх типах сусла, що робить розділення сусла та фільтрацію пива набагато легшим і швидшим завдяки зменшенню в'язкості сусла.

Ферментний препарат AMILEX 5T – термостабільна α -амілаза, яку одержують з генетично зміненого штаму *Bacillus licheniformis*. Використовують для корекції солоду низької якості, розрідження крохмалю зернових [16].

Beerzym® AMYL HT – це рідкий, спеціальний, ферментний препарат для розрідження крохмалю зернової сировини під час виробництва пивного сусла із солоду та несолодових матеріалів. Препарат активний за температури затирання. Продуцентом ферменту є спеціально відібраний штам бактерій *Bacillus licheniformis*. Основна активність ферментного препарату зумовлена дією термостабільної α -амілази.

Активність ферменту проявляється у широкому інтервалі рН від 5,0 до 9,0 з оптимумом за рН = 6,5 за наявності субстрату та достатньої кількості йонів Кальцію та в температурному інтервалі 30...100 °C (з оптимумом за 90...95 °C) [17].

Beerzym® BG – це рідкий, спеціальний ферментний препарат для розщеплення β -глюкану зернової сировини під час одержання пивного сусла. Препарат активний за температури затирання зернової сировини. Фермент одержують із спеціально відібраного штаму гриба *Penicillium emersonii*. Основна активність ферментного препарату зумовлена дією термостабільної β -глюканаз. Активність ферменту проявляється у широкому інтервалі рН від 2,0 до 6,5 з оптимумом за рН = 4,5 та діапазоні температур від 15 до 95 °C з оптимумом 75...85 °C [18].

EnerZyme® P7 – це рідкий, спеціальний ферментний препарат для протеолізу білкових речовин зерна в процесі затирання з температурою до 55°C. Ферментний препарат одержують із спеціально відібраного штаму *Bacillus subtilis*. Основна активність препарату зумовлена дією протеїнази. Препарат також виявляє незначну α -амілазну і β -глюканазну активність.

Активність ферменту проявляється у широкому інтервалі рН від 5,0 до 10,0 з оптимумом рН = 7,0 та діапазоні температур від 25°C до 70°C з оптимумом 55°C [19].

Досліджувані ФП додавались під час затирання солоду. Режим затирання- відварковий. Утворений затор витримують спочатку 40 хвилин при 65 градусах, потім 20 хв при 72 градусах та 1 хв при 78 градусах. У заторі рН 5.25, гідромодуль 1:3. Солод (ДСТУ 4282:2018) використовували з наступними, визначеними за стандартними методиками [21], показниками:

- вологість солоду $W_0 = 5,0 \%$;
- масова частка екстракту в повітряно-сухій речовині сухого солоду $E_0^1 = 74,67 \%$;
- масова частка екстракту в сухій речовині сухого солоду $E_0^2 = 78,60 \%$;
- екстрактивність солодової витяжки 6,002%.

Ферментні препарати додавались у таких кількостях:

Laminex® MAX Flow 4G – 0,15 кг/т засипу.

Amylex 5T – 0,15 кг/т засипу.

Beerzym® AMYL HT взято 100 мл/т засипу.

EnerZyme® P7 взято 300 мл/т засипу.

Beerzym® BG взято 300 мл/т засипу.

На заводі "Bierwelle" однією із задач є оптимізація процесу фільтрації з метою зменшення втрат екстрактивних речовин сирої дробини, тому в усередненій пробі було досліджено масову частку загального екстракту дробини, екстракту дробини, що вимивається та залишкового екстракту у трьох зразках:

- 1 – контроль (затор без додавання ферментних препаратів);
- 2 – затор з додаванням Laminex® MAX Flow 4G та Amylex 5T;
- 3 – затор з додаванням Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG, EnerZyme® P7.

ФП скомпоновані відповідно до їх гідролітичної активності, забезпечуючи додаткове внесення β-глюканози (Laminex® MAX Flow 4G та Beerzym® BG) і α-амілази (Amylex 5T та Beerzym® AMYL HT). EnerZyme P7 містить протеїназу.

Для визначення екстракту дробини, що вимивається спочатку визначали вологість сирої дробини. Для цього наважку 500 г висушували за температури 60°C дві години за допомогою сушильної шафи Labexpert Multi Control; за різницею мас розраховували вміст вологи у відсотках. Іншу наважку сирої дробини (200 г) віджимали на ручному пресі, одержане сушло відфільтровували та за допомогою пікнометра визначали вміст екстракту у фільтраті. Далі розраховували масову частку екстракту, що вимивається у сирій пивній дробині та масову частку екстракту, що вимивається, у перерахунку на зерно, що затирається.

Визначення вмісту загального екстракту дробини проводили шляхом висушування наважки підсушеної дробини за температури 105 °C протягом трьох годин та розрахунку її вологості. Далі 25 г дрібно розмеленої висушеної дробини поміщали в заторний стакан з 200 см³ води. Перемішуючи, доводили до кипіння та кип'ятили 20 хвилин. В охолоджену до 70 °C рідину додавали 100 см³ солодової витяжки. Витримували 1 годину, охолоджували, додавали води до 300 г та фільтрували. [21].

За допомогою пікнометру визначали відносну густину та за таблицею перерахунку – вміст екстрактивних речовин. За формулою перерахунку визначали екстрактивність висушеної дробини у перерахунку на сухі речовини та масову частку загального екстракту в пивній дробині до маси солоду, що затирався.

Вміст залишкового екстракту визначали за різницею загального екстракту та екстракту, що вимивається. Одержані результати представлені в таблиці.

Таблиця – Екстрактивність дослідних зразків пивної дробини

Дослідний зразок дробини	Значення екстракту, що вимивається,%		Значення загального екстракту,%		Значення залишкового екстракту,%	
	Визначене	Нормативне	Визначене	Нормативне	Визначене	Нормативне
Зразок 1 (контроль, без ферменту)	2,48	0,5...0,7	9,59	1,5...2,0	7,11	0,8...1,2
Зразок 2 (з ферментами Laminex® MAX Flow 4G та Amylex 5T)	0,87		6,49		5,62	
Зразок 3 (з ферментами Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG, EnerZyme® P7)	0,63		3,15		2,53	

Одержані експериментальні дані (таблиця) дають підстави зробити висновки про те, що під час виробництва крафтового пива «Десятка», навіть за участі ферментних препаратів мають місце суттєві втрати екстрактивних речовин, що залишаються в пивній дробині після фільтрації. Частково саме цим пояснюється вища собівартість крафтового пива у порівнянні з одержаним на сучасному підприємстві. Якщо порівнювати одержані результати показників екстрактивності двох зразків затору з ферментними препаратами та контролю, то видно, що більш ефективною виявилась комбінація ферментних препаратів зразка 3 (з додаванням Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG, EnerZyme® P7). Вміст екстракту, що вимивається у зразку 3 знизився на 1,85%, загальний екстракт на 6,44%, а залишковий екстракт – на 4,58 % у порівнянні з контролем (таблиця 1). Нижчу здатність до підвищення ступеня гідролізу полісахаридів і білків солоду, а, відповідно, і сприянню переходу більшої кількості речовин в розчинений стан і збільшенню переходу екстрактивних речовин солоду в затор, збільшення виходу готового продукту (та, опосередковано – збільшенню його колоїдної стійкості) спостерігалось у зразку 2 (з ФП Laminex® MAX Flow 4G та Amylex 5T). В результаті додавання суміші Laminex® MAX Flow 4G та Amylex 5T до затору екстракт, що вимивається знизився на 1,61%, загальний екстракт на 3,10 %, а залишковий екстракт – на 1,49% у порівнянні з контролем. Ймовірно, збільшення екстрактивності затору було досягнуто завдяки додаванню ФП EnerZyme P7, що містить протеїназу, забезпечуючи глибший гідроліз білків зерна. Перевищення нормативних показників пояснюється тим, що на вміст екстракту у дробині впливають не тільки ферментативні процеси, але й ступінь подрібнення солоду, його якість та режим затирання, і для збільшення ефективності фільтрування можливим є використання одного з сучасних методів, наведених у [22].

Таким чином, аналіз впливу ФП на збільшення екстрактивності дробини в умовах пивоварної майстерні "Bierwelle" показав, що більш ефективною виявилась комбінація ферментних препаратів Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG та EnerZyme® P7. В цілому, застосування ферментних препаратів для виробництва пива, безумовно, є інноваційним рішенням для крафтових підприємств. Виведення на споживчий ринок нових видів пива, поява оригінальних смаків у пивній продукції – прямий шлях до підвищення конкурентоспроможності крафтових підприємств, адже зростання попиту й купівлі є складовими зростання прибутковості підприємства.

Висновки. 1. Аналіз впливу ряду досліджуваних ферментних препаратів на процес пивоваріння показав, що найефективнішим є комплекс ферментів Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG, EnerZyme® P7, додавання якого під час затирання суслу зменшує масову частку загального екстракту дробини на 6,44%, а залишковий екстракт – на 4,58 % у порівнянні з контролем.

2. Показано перспективність застосування комбінації ферментних препаратів Beerzym® AMYL HT, Beerzym® BG та EnerZyme® P7 для збільшення виходу продукту та подовження його терміну зберігання за рахунок зростання колоїдної стабільності на крафтовому виробництві "Bierwelle".

Список використаних джерел

1. Домарецький В. А. Технологія солоду та пива / В. А. Домарецький. – К. : ІНККОС, 2004. – 426 с.
2. Данилова Л. А. Практика производства стабільного пива / Л. А. Данилова, Т. А. Березка, В. А. Домарецький // Пищевые технологии Food&Drink. – 2006. – № 1. – С. 8-11.
3. Романова З. Дослідження процесів та засобів сприяння стійкості пива / З. Романова, Н. Федорова, М. Яремчук // Slovak international scientific journal. – 2019. – № 30. – С. 32-35.
4. Федорова Н. Дослідження можливостей подовження стійкості пива [Електронний ресурс] / Н. Федорова, З. Романова // InterConf. – 2020. – № 3(36). – С. 1325-1329. – Режим доступу: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/6521>.
5. Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів : Закон України від 23.12.1997 № 771/97-ВР (зі змінами від 28.07.2022 № 2468-IX) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>.
6. Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, здоров'я та благополуччя тварин : Закон України від 18.05.2017 № 2042-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19#Text>.
7. Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР) : Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України від 01.10.2012 № 590 (зі змінами від 17.10.2015 № 429) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text>.
8. Олійнічук, С. Т. Вплив збільшення норм додавання α -амілази та глюкоамілази на повноту зброджування сусла із крохмалевмісної сировини [Електронний ресурс] / С. Т. Олійнічук, Р. Г. Кириленко, Я. М. Харевич // Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції : збірник матеріалів Х Міжнародної науково-технічної конференції, 09–10 листопада 2021 р., м. Київ. – К. : НУХТ, 2021. – С. 137–138. – Режим доступу: <https://drive.google.com/file/d/19UKlOwRCKdLnSAB-vq0YcSt8lMP6wC9NK/view>.
9. Магорівська Г. Я. Приготування пивного сусла з використанням ферментного препарату Нутемфаз [Електронний ресурс] / Г. Я. Магорівська // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.4. – С. 110-113. – Режим доступу: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_4/110_Magoriwska_19_4.pdf.
10. Вплив ферментних препаратів на технологію виробництва та якість пива калузької пивоварні / Я. Ф. Шепіда, Ю. І. Сидоров, В. П. Новіков, Р. Й. Влязло // Вісник Державного університету «Львівська політехніка». – 2001. – № 426: Хімія, технологія речовин та їх застосування. – С. 148–150.
11. Романова З. М. Інтенсифікація процесів пивоваріння за участі ферментів [Електронний ресурс] / З. М. Романова, О. С. Романов, Л. О. Косоголова // Проблеми екологічної біотехнології. – 2017. – № 2. – Режим доступу: https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/38986/1/2017_2.pdf.
12. Лойко С. Дослідження впливу ферментів та фенолів сировини для стійкості пива [Електронний ресурс] / С. Лойко, В. Рубан, З. Романова // Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті : 84-а міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, 5–6 квітня 2018 р. – К. : НУХТ, 2018. – Ч. 1. – С. 285. – Режим доступу: <http://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/27841>.
13. Кошова В. М. Вплив поліфенолів на колоїдну стійкість пива / В. М. Кошова, Н. Є. Мацулевич // Наукові праці НУХТ. – 2011. – № 37-38. – С. 34-37.
14. Кошова В. М. Вплив ферментних препаратів на колоїдну стійкість пива / В. М. Кошова, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 127-132. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_4_18.
15. Laminex. The ideal filtration aid in beer [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://www.dupontnutritionandbiosciences.com/brewing/products/laminex.html>.
16. Амилекс 5Т [Electronic resource]. – Accessed mode: <http://ekspoteh.ru/index.php?name=production&op=printe&id=129>.

17. Thermostable bacterial α -amylase for starch liquefaction in beer production with malt and adjuncts [Electronic resource]. – Accessed mode: https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Beer/technical_data_sheets/GB/beerzym_amyl_ht-beer-technical_data-sheet-english-erbsloeh.pdf.

18. Thermostable fungal β -glucanase for glucan degradation in brewing mashes [Electronic resource]. – Accessed mode: https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Beer/technical_data_sheets/GB/beerzym_bg-beer-technical_data-sheet-english-erbsloeh.pdf.

19. Neutrale Bakterien-Proteinase zur Proteolyse in Braumaischen mit Rohfruchtanteilen [Electronic resource]. – Accessed mode: https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Beer/technical_data_sheets/DE/enerzyme_p7-bier-datenblatt-deutsch-erbsloeh.pdf.

20. Регламент європейського парламенту і Ради (ЄС) № 1332/2008 від 16 грудня 2008 року про харчові ензими та внесення змін до Директиви Ради 83/417/ЄЕС, Регламенту Ради (ЄС) № 1493/1999, Директиви 2000/13/ЄС, Директиви Ради 2001/112/ЄС і Регламенту (ЄС) № 258/97 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-08.

21. Мелетьєв А. С. Технохімічний контроль солоду, пива та безалкогольних напоїв : підручник / А. С. Мелетьєв, С. Р. Тодосійчук, В. М. Кошова. – Вінниця : Нова книга, 2008. – 300 с.

22. Герез А. В. Шляхи підвищення стійкості пива / А. В. Герез, О. С. Дулька, В. Л. Прибильський // Debats scientifiques et orientations prospective du developpement scientifique : International Scientific and Practical Conference, 5 February 2021. – Paris : République française «La Fedelta», 2021. – Pp. 35-37. [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/issue/view/05.02.2021/439>.

References

1. Domaretskyi, V.A. (2004). *Tekhnolohiia solodu ta pyva [Technology of malt and beer]*. INKOS.
2. Danilova, L.A., Berezka, T.A., & Domaretskyi, V.A. (2006). *Praktika proizvodstva stabilnogo pyva [The practice of production of stable beer]*. *Pishchevyte tekhnologii Food&Drink – Food technologies Food&Drink*, (1), 8-11.
3. Romanova, Z., & Yaremchuk, M. (2019). *Doslidzhennia protsesiv ta zasobiv spriannia stiikosti pyva [Research of processes and means of promoting beer stability]*. *Slovak international scientific journal*, (30), 32-35.
4. Fedorova, N., & Romanova, Z. (2020). *Doslidzhennia mozhlyvostei podovzhennia stiikosti pyva [Study of the possibilities of extending the stability of beer]*. *InterConf.*, 3(36), 1325-1329. <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/6521>.
5. *Pro osnovni pryntsyipy ta vymohy do bezpechnosti ta yakosti kharchovykh produktiv [On Basic Principles and Requirements for Food Safety and Quality]*, Law of Ukraine № 771/97-BP (on December 23, 1997). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-%D0%B2%D1%80#Text>.
6. *Pro derzhavnyi kontrol za dotrymanniam zakonodavstva pro kharchovi produkty, kormy, pobichni produkty tvarynnoho pokhodzhennia, zdorovia ta blahopoluchchia tvaryn [On state control over compliance with the legislation on food products, feed, by-products of animal origin, animal health and welfare]*, Law of Ukraine № 2042-VIII (on May 18, 2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19#Text>.
7. *Pro zatverdzhennia Vymoh shchodo rozrobky, vprovadzhennia ta zastosuvannia postiino diiuchykh protsedur, zasnovanykh na pryntsyypakh Systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv (HACCP) [On the approval of the Requirements for the development, implementation and application of ongoing procedures based on the principles of the Food Safety Management System (HACCP)]*, Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine № 590 (10.01.2012). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text>.
8. Oliinichuk, S.T., Kyrylenko, R.H., & Kharevych, Ya.M. (2021). *Vplyv zbilshennia norm dodavannia α -amilazy ta hliukoamilazy na povnotu zbrodzhuvannia susla iz krokhmalevmisnoi syrovyny [The effect of increasing the rate of addition of α -amylase and glucoamylase on the completeness of fermentation of wort from starch-containing raw materials]*. *Naukovi problemy kharchovykh tekhnolohii ta promyslovoi biotekhnolohii v konteksti Yevrointehratsii: zbirnyk materialiv X Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Scientific problems food technologies and industrial biotechnology in the context of European integration: collection of materials of the X International scientific and technical conference* (pp. 137–138). NUKhT. <https://drive.google.com/file/d/19UKlOwRCKdLnSAB-vq0YcT8lMP6wC9NK/view>.

9. Mahorivska, H.Ya. (2009). Pryhotuvannia pyvnoho susla z vykorystanniam fermentnoho preparatu Hytemphase [Preparation of beer wort using the Hytemphase enzyme preparation]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*, 19.4, 110-113. https://nv.ntu.edu.ua/Archive/2009/19_4/110_Magoriwska_19_4.pdf.

10. Shepida, Ya.F., Sydorov, Yu.I., Novikov, V.P., & Vliazlo, R.Y. (2001). Vplyv fermentnykh preparativ na tekhnolohiiu vyrobnytstva ta yakist pyva kaluskoï pyvovarni [The effect of enzyme preparations on the production technology and quality of beer of the Kalush's brewery]. *Visnyk Derzhavnoho universytetu «Lvivska politekhnika» – Bulletin of the State University “Lviv Polytechnic”*, (426), 148–150.

11. Romanova, Z.M., Romanov, O.S., & Kosoholova, L.O. (2017). Intensyfikatsiia protsesiv pyvovarinnia za uchasti fermentiv [Intensification of brewing processes with the participation of enzymes]. *Problemy ekolohichnoi biotekhnolohii – Problems of ecological biotechnology*, (2). https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/38986/1/2017_2.pdf.

12. Loiko, S., Ruban, V., & Romanova, Z. (2018). Doslidzhennia vplyvu fermentiv ta fenoliv syrovyny dlia stiikosti pyva [Study of the influence of enzymes and phenols of raw materials on the stability of beer]. *Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti: 84 mizhnarodna naukova konferentsiia molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv – Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the 21st century: 84th international scientific conference of young scientists, graduate students and students* (Vol. 1, p. 285). NUKhT. <http://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/27841>.

13. Koshova, V.M., & Matsulevych, N.Ye. (2011). Vplyv polifenoliv na koloidnu stiikist pyva [The effect of polyphenols on the colloidal stability of beer]. *Naukovi pratsi NUKhT – Scientific works of the National Technical University of Ukraine*, (37-38), 34-37.

14. Koshova, V.M., Mysiura, T.H., & Popova, N.V. (2017). Vplyv fermentnykh preparativ na koloidnu stiikist pyva [The effect of enzyme preparations on the colloid stability of beer]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii – Scientific works of the National University of Food Technologies*, 23(4), 127-132. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2017_23_4_18.

15. Laminex. The ideal filtration aid in beer (n.d.). <https://www.dupontnutritionandbiosciences.com/brewing/products/laminex.html>.

16. Amileks 5T [Amilex 5T]. <http://ekspoteh.ru/index.php?name=production&op=printe&id=129>.

17. Thermostable bacterial α -amylase for starch liquefaction in beer production with malt and adjuncts. (n.d.). https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Beer/technical_data_sheets/GB/beerzym_amyl_ht-beer-technical_data-sheet-english-erbsloeh.pdf.

18. Thermostable fungal β -glucanase for glucan degradation in brewing mashes. (n.d.). https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Beer/technical_data_sheets/GB/beerzym_bg-beer-technical_data-sheet-english-erbsloeh.pdf.

19. Neutrale Bakterien-Proteinase zur Proteolyse in Braumaischen mit Rohfruchtanteilen. (n.d.). https://erbsloeh.com/fileadmin/user_upload/pdf/Beer/technical_data_sheets/DE/enerzyme_p7-bier-datenblatt-deutsch-erbsloeh.pdf.

20. Rehlament yevropeiskoho parlamentu i Rady (IeS) № 1332/2008 vid 16 hrudnia 2008 roku pro kharchovi enzymy ta vnesennia zmin do Dyrektyvy Rady 83/417/IeES, Rehlamentu Rady (IeS) № 1493/1999, Dyrektyvy 2000/13/IeS, Dyrektyvy Rady 2001/112/IeS i Rehlamentu (IeS) № 258/97 https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_017-08.

21. Meletiev, A.Ye., Todosiichuk, S.R., & Koshova, V.M. (2008). *Tekhnokhimichni kontrol solodu, pyva ta bezalkoholnykh napoiv [Technochemical control of malt, beer and soft drinks]*. Nova knyha.

22. Herez, A.V., Dulka, O.S., & Prybylskyi, V.L. (2021). Shliakhy pidvyshchennia stiikosti pyva. *Debats scientifiques et orientations prospective du developpement scientifique: International Scientific and Practical Conference* (pp. 35-37). République française «La Fedeltà». <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/logos/issue/view/05.02.2021/439>.

Отримано 28.09.2022

**Zhanna Zamai¹, Oksana Gumeniuk², Olena Khrebtan³,
Sergiy Ponomarenko⁴, Konstantin Ivanenko⁵**

¹PhD in technical sciences, Associate Professor, Department of Food Technology
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: zamaizhanna@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-4677>. ScopusID: [6506101557](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=6506101557); [6506148493](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=6506148493)

²PhD in Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technologies
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gum_ok@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1873-0661>

ResearcherID: [F-9471-2016](https://orcid.org/0000-0003-1873-0661). ScopusID: [9839040200](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=9839040200)

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Food Technology
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: olenaborisovnahrebtan@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7296-7136>

⁴PhD in Economical Sciences, Associate Professor,

Head of the Department of Public Administration and Management of Organizations
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: pon63serg@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0714-7972>. ResearcherID: [J-4914-2016](https://orcid.org/0000-0003-0714-7972)

⁵PhD in technical sciences, Associate Professor, Department of Food Technology
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

E-mail: sapr121@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9940-6523>. ScopusID: [57196196416](https://scopus.com/authid/detail.url?authorID=57196196416)

THE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF EZYME PREPARATIONS USE AND REQUIREMENTS ON THEIR SAFETY IN CRAFT BEER PRODUCTION

The main problems of brewing are related to the quality of mash sugaring; a significant residue of extractive substances in the shot; insufficiently intensive and deep fermentation; with beer filtering; its colloidal stability. Craft productions face similar problems. The use of enzyme preparations (EP), which are effectively used in large breweries, is one of the ways to solve these problems. That is why the study of the effectiveness of the EP application in the conditions of craft brewing production is relevant.

The use of EP allows more efficient hydrolysis of malt proteins and polysaccharides, which leads to an increase in its extractability. In conditions of craft production, it is necessary to separately evaluate the effectiveness of the use of each enzyme preparation or their combination for a given type of beer and for a given brewery.

The work analyzes the latest research and publications on the use of enzyme preparations and their effect on the quality of the beer obtained, as well as the conditions for their safe use. The effectiveness of conducting a deeper hydrolysis of malt polymers and, accordingly, increasing its extractability, increasing the yield of the finished product, and increasing the colloidal stability of beer when using enzyme preparations of microbial origin were analyzed. It has been established that considerable attention is paid to the effectiveness of the use of EP in brewing, however, research mainly concerns their impact on the quality (expiration date) of the finished drink, and the use of EP in the conditions of craft productions has not been conducted. In addition, new enzyme preparations, mainly of foreign production, are appearing on the market of Ukraine, therefore it is important to investigate the feasibility of their use in the conditions of specific industries.

The purpose of the article is the theoretical and experimental substantiation of the introduction of enzyme preparations in the production process of "Desyatka" beer at the "Bierwelle" beer workshop, which should contribute to reducing the loss of malt active substances during beer filtration and increasing the shelf life of the finished product.

The effectiveness of the study enzyme preparations, their effect on the beer filtration process was evaluated by determining the mass fraction of the total extract of the grain, the extract of the leached grain and the residual extract.

From the obtained data, it can be seen that during the production of craft beer "Desyatka", even with the participation of enzyme preparations, there are significant losses of extractive substances that remain in the beer grain after filtration.

The paper shows the prospects of using enzyme preparations to increase the yield of the product and extend its shelf life at the "Bierwelle" craft production. Analysis of the effect of a number of investigated enzyme preparations on the brewing process showed that the most effective is the Beerzym AMYL HT, Beerzym BG, EnerZyme P7 enzyme complex, the addition of which during mashing of the wort reduces the mass fraction of the total extract of the grain by 6.44 %, and the residual extract by 4.58 % compared to the control.

Table: 1. References: 22.

РОЗДІЛ IV. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-136-143

УДК 621.314

Валерій Кирик¹, Володимир Халіков², Анатолій Жерносеков³, Олександр Шатан⁴

¹доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних мереж та систем
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: ykyryk@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-8934>

²доктор технічних наук, старший науковий співробітник, старший викладач кафедри електричних мереж та систем
Національний технічний університет України «КПІ ім. І. Сікорського» (Київ, Україна)

E-mail: xvavlad@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1691-5005>

Scopus Author ID: [55327787500](https://orcid.org/0000-0003-1691-5005)

³ доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
завідувач відділу імпульсних процесів і технологій дугового зварювання
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (Київ, Україна)

E-mail: zhernosekov@paton.kiev.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6404-2221>

Scopus Author ID: [6506774085](https://orcid.org/0000-0002-6404-2221)

⁴науковий співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук (Київ, Україна)

E-mail: shatanaf57@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6553-7421>

ОРГАНІЗАЦІЯ АСИНХРОННОЇ КОМУТАЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРА З УРАХУВАННЯМ ІНЕРЦІЙНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ПРОЦЕСІВ

У роботі розглянуто алгебраїчні, графічні та імітаційно-візуальні аспекти аналізу процесів, що виникають при комутації силового трансформатора. Показано, що повторне увімкнення трансформатора може привести до суттєво більшого сплеску струму в первинній обмотці в порівнянні з першим увімкненням, а причиною цього явища є величина магнітного потоку на момент повторної комутації. Показано, що значення потоку та його зміна залежить від величини навантаження вторинної обмотки, а меншим значенням навантаження відповідають більші значення швидкості спаду магнітного потоку осердя трансформатора й навпаки. Рекомендовано такий алгоритм комутації трансформатора, при якому кожне його наступне увімкнення буде починатися з близького до нуля значення потоку магнітопроводу.

Ключові слова: трансформатор; магнітний потік; насичення магнітопроводу; ключ; комутація; організація комутації; перехідний процес; моделювання.

Рис.: 5. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Трансформатор у більш-менш визначеній та установленій формі своєї техніко-технологічної реалізації має близько 140 років історії використання. Тобто в такому його виді з ним мало справу вже не одне покоління електротехніків. Враховуючи те, що трансформатор – це часто незамінний компонент різного роду електричних кіл, були напрацьовані різні варіанти реалізації його комутації. При цьому трансформатор розглядався і як окрема електрична машина, так і частина або компонент різних систем, пристроїв, мереж тощо. Зрозуміло, що на виконання операції комутації трансформатора накладаються обмеження, викликані функціональним призначенням систем, їх конфігурацією, параметрами та характеристиками наявних чи доступних для використання комутаційних компонентів чи пристроїв і основне та найбільш очевидне, супутніми перехідними процесами. У більшості випадках комутації розглядаються питання про порядок увімкнення трансформатора та його вимкнення [1].

Постановка проблеми. Відомо, що при асинхронному увімкненні силового трансформатора, сплески струму в його первинній обмотці, в тому числі й у режимах, близьких до мінімуму навантаження, можуть перевищувати в кілька разів її номінальний струм. Такі процеси є небажаними з погляду енергоефективності, електромагнітної сумісності, надійності трансформатора, функціонування систем захисту тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Незважаючи на широке застосування в останні десятиліття інверторної техніки, використання трансформаторів залишається достатньою широким у різних галузях промисловості, зокрема в устаткуванні для зварювання [2; 3]. Проблема якості живлячої мережі та її спотворення вищими гармоніками струму досить актуальна сьогодні [4; 5]. Трансформаторні джерела живлення зварювальної дуги генерують у живлячу мережу менший рівень вищих гармонік струму, ніж інверторні джерела, вони значно простіше в обслуговуванні й більш надійні, а режими комутації трансформаторних джерел залишаються предметом дослідження [6; 7].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Варіанти вирішення щодо аналізу процесів, які виникають при комутації силового трансформатора, для окремого випадку сформульовані в теорії електричних машин [8]. Згідно з ним, при нульовому залишковому магнітному потоці осердя ($\Phi_3 = 0$), тобто при повному його розмагнічуванні, найбільш сприятливим для увімкнення є момент часу t , чи фазовому куті φ , при яких синусоїдальна напруга, що прикладається до первинної обмотки трансформатора, досягає свого амплітудного значення (U_m).

У такому випадку після увімкнення амплітудне значення потоку Φ_m осердя трансформатора, при достатньому наближенні його до ідеального, визначається формулою: $\Phi_m = U_1 / (4,44 f w_1)$. При цьому фаза φ магнітного потоку завжди відстає на чверть періоду від фази прикладеної напруги, тобто при $u_1 = U_{1m} \sin \omega t$, маємо $\Phi = \Phi_m \sin (\omega t - \pi/2)$, де U_{1m} – амплітуда напруги u_1 , а величина потоку є функцією вольтсекундної площі u_1 , тобто її інтегралом: $\Phi = (U_{1m} / w_1) \int \sin (\omega t - \pi) dt$. Амплітуда струму намагнічування I_{0m} , що утворює в осерді трансформатора магнітний потік Φ , або іншими словами – реактивна складова струму холостого ходу – буде дорівнювати: $I_{0m} = (\Phi_m / w_1) R_m$.

І навпаки, за тих же початкових умов ($\Phi_3 = 0$) найбільш несприятливим стає момент увімкнення первинної обмотки трансформатора при нульовому рівні синусоїдальної напруги, на яку вмикається первинна обмотка. При цьому в магнітному потоці осердя з'явиться суттєва, спадаюча в часі, експоненціальна складова, яку відповідно теорії перехідних процесів іменують перехідною. Проте такому лінійно-алгебраїчному відображенню процесу комутації властиві суттєві невідповідності.

Більш наочним є графічна інтерпретація процесу увімкнення, що на відміну від алгебраїчного представлення процесів, досить просто відображає їх нелінійну суть (рис. 1.) [8]. При цьому величина магнітного опору осердя трансформатора R_m визначається кривою намагнічування у координатах I_0, U_1 (рис. 1, б).

У такому випадку середньому круто падаючому відрізку (ab) кривої відповідає найбільше значення R_m , а нахил пологих крайніх відрізків щодо нахилу середнього показує, наскільки зменшується величина R_m при переході потоком точок перегину (a – при позитивних значеннях Φ , коли $\Phi = +\Phi_m = I$; b – при негативному Φ , коли $\Phi = -\Phi_m = -I$) кривої намагнічування.

При увімкненні первинної обмотки трансформатора в момент позитивного фронту управляючого параметра U_y (рис. 1, а), тобто фазовому куті $\varphi = \pi/2$, першій позитивній чверті періоду ($t = 0,005 \dots 0,01$ с) напруги u_1 після підключення буде зіставний вектор ($o-a$) степені насичення магнітопроводу на кривій його перемагнічування (рис. 1, б). У такому разі моменту часу $t = 0,01$ с відповідає нульове значення $u_1 = 0$ і максимальна позитивна величина намагнічування ($+\Phi_m$) осердя (точка “а”) на відрізку (ab).

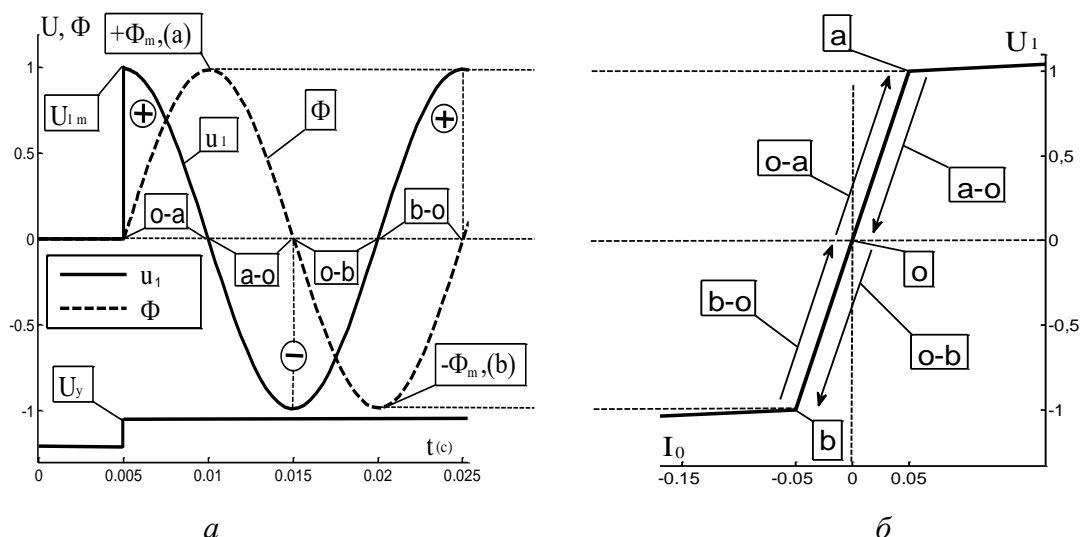


Рис. 1. Геометрична інтерпретація процесу увімкнення трансформатора

Перехід u_1 в область від’ємних значень призводить до зменшення магнітного потоку, який досягне нульової величини за амплітуди напруги U_{1m} ($t = 0,015$ с). При цьому напрямком зміни ступені намагнічування осердя на рис. 1, б показано вектором $(a-o)$. Повний цикл перемагнічування осердя, із поверненням магнітного потоку з області його від’ємних значень у початкову точку із значенням $\Phi = 0$ буде завершено при $t = 0,025$ с, тобто в позитивному максимумі напруги u_1 , що і відображено векторами кривої намагнічування та виділеними їм відповідними чвертями періоду вхідної напруги.

Такий випадок комутації є найбільш сприятливим для трансформатора, оскільки він відразу виходить на усталений (стаціонарний) режим роботи, тобто без струмових екстремальних коливань. У такому режимі за відповідного розрахунку, перемагнічування осердя, відбувається на відрізку (ab) при максимальному значенні магнітного опору й мінімальному струмі I_0 .

Зміщення моменту комутації від середини півперіоду ($t = 0,005$ с) вхідної напруги в той чи інший бік призводить до перехідного процесу, під час якого струм намагнічування I_0 різко зростає. Це пов’язано з появою асиметрії в кривій магнітного потоку, оскільки він є функцією вольтсекундної площі напруги, і виходу його амплітуди за межі, визначені точками перегину (a, b) , тобто в область низьких значень магнітного опору R_m осердя трансформатора.

Задача визначення I_{0m} у геометричній інтерпретації вирішується шляхом проєкції потоку на криву намагнічування. У найбільш несприятливих випадках комутації (наприклад при $t = 0,01$ с або $t = 0,02$ с) значення I_0 буде суттєво більшим за номінальний струм $I_{ном}$ первинної обмотки.

Графічний аналіз процесу комутації трансформатора надає доступне й наочне уявлення про природу появи сплесків струму у вхідних колах трансформатора, проте кількісно дає можливість оцінити амплітуду лише першого сплеску.

Метою дослідження є така організації комутації трансформатора, при якій досягається його вихід на усталений режим роботи з мінімальною амплітудою вхідного струму та тривалістю перехідного процесу, без екстремальних проявів у процесі комутації.

Виклад основного матеріалу. Подальше вирішення питань аналізу подібного роду електромагнітних процесів стало можливим, лише за використання методів чисельного обчислення з подальшим розвитком методології та технологій дослідження в частині комп’ютерного моделювання. У цьому напрямку, найбільш доцільним, є застосування програмного пакета MATLAB/Simulink, тобто апарату об’єктноорієнтованого імітаційного візуального моделювання [9]. Реалізацію моделі трансформатора в такому середовищі, для випадку комутації його первинної обмотки, наведено на рис. 2.

На вкладці параметрів імітаційної моделі трансформатора T1 можна апроксимувати криву намагнічування осердя. Наприклад, для характеристики намагнічування наведеної на рис. 1, б її параметри повинні бути представлені в моделі трансформатора наступним чином: Saturation characteristic [0,0; 0.05, 1.0; 1.0, 1.05]. Відповідно струм I_{w1} первинної обмотки із приєднанням її до мережі живлення може мати, в залежності від фаз напруги на момент ввімкнення, суттєво різний вид. На рис. 3 показано форми струму при різних фазах напруги на момент ввімкнення (штрихова лінія відповідає найбільш прийнятній кривій вхідного струму I_{w1} , а неперервна – у її найбільш неприйнятній формі).

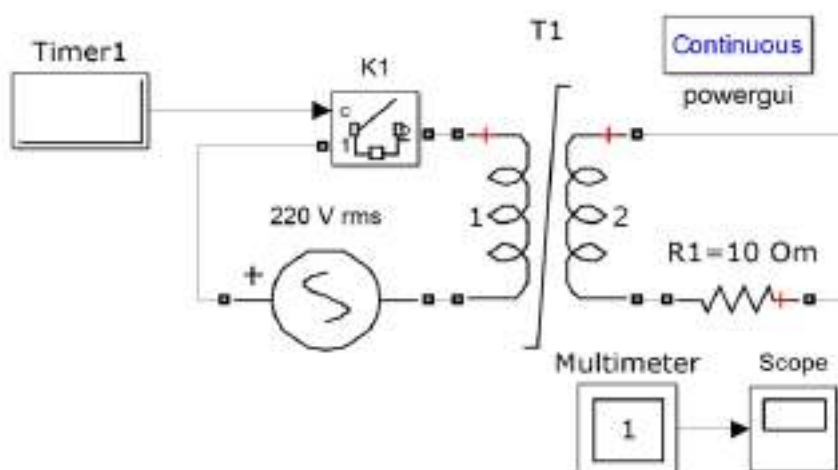


Рис. 2. Модель комутації трансформатора

Проте і при такому гранично спрощеному представленні параметрів (Saturation Characteristic) моделі трансформатора (рис. 2) результати моделювання будуть, навіть з першого погляду, не тільки наочними, але й достатньо якісними.

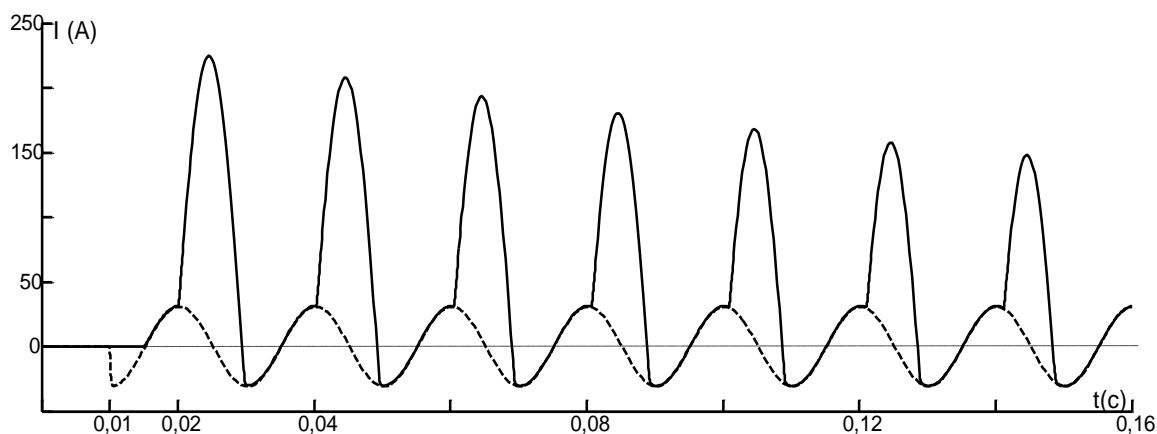


Рис. 3. Результати моделювання комутації трансформатора

Для прикладу, взято серійний трансформатор ОСМ1-2,5У3 [10] із напругою первинної обмотки 220 В та номінальною потужністю 2,5 кВА за його номінального активного навантаження. Кількісний аналіз результатів вимірювання та моделювання показав, що різниця в відсотках між ними по діючому значенню сплеску струму одразу після комутації складає лише 0,43 %, із наростанням при кожному наступному сплеску струму, але не перевищує 0,76 %. Ці ж результати відповідно для миттєвих значень, дещо більші, але не перевищують 1,6 %. Тобто похибки обчислень при моделюванні знаходяться на одному рівні із похибками вимірювання.

На рис. 3 показано характер зміни вхідного струму I_{w1} при найбільш несприятливому для трансформатора моменті комутації. При цьому штрихова лінія ілюструє хід процесу I_{w1} в первинній обмотці трансформатора починаючи з найбільш бажаного моменту комутації. Зі зменшенням величини навантаження трансформатора, характер струму намагнічування буде виражено більш явно. Безумовно, що такого роду екстремальний характер процесів неможливо ігнорувати. Досить тривалий і по своєму характеру аперіодичний перехідний процес супроводжується несинусоїдальним споживанням струму, генеруванням вищих гармонік у мережу, що загалом погіршує якість електроенергії та електромагнітну сумісність пристроїв.

Очевидно, що одержати прийнятний хід процесу комутації, як і впливає з рис. 3, можна належною синхронізацією моменту увімкнення із напругою мережі живлення, що доступно, і може бути реалізовано, наприклад, комутаторами на базі тиристорів. Проте необхідно враховувати, що протягом півперіоду струму кратність перевантаження такого напівпровідникового комутатора не перевищує семи при достатньо значному падінні напруги і відповідно виділенні тепла на ньому. Електромеханічний контакт, а це основа різного роду пускачів, контакторів, вимикачів, відповідно має значення кратності перевантаження 100...400, відносно мале падіння напруги на ньому, проте про якогось роду фазову синхронізацію не може бути мови.

Разом із тим наведені (рис. 3) екстремальні сплески струму, у багатьох випадках можуть бути значно перевищені. І це стосується як напівпровідникових, так і електромеханічних комутаторів. На рис. 4 показано струм первинної обмотки I_{w1} при повторному увімкненні (при $t = 0,115$ с) трансформатора після короткочасного його вимкнення.

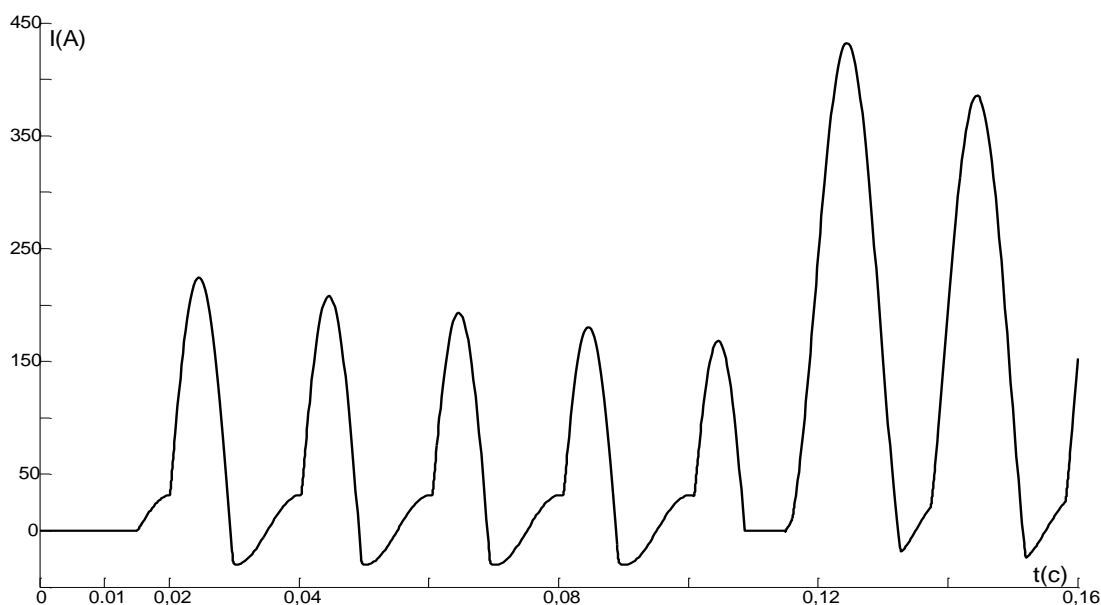


Рис. 4. Струм первинної обмотки при повторному увімкненні трансформатора

Як видно з рис. 4, перший сплеск струму первинної обмотки трансформатора при повторному увімкненні, по амплітуді в два рази перевищує значення амплітуди струму при його першому увімкненні. При цьому кратність його середнього значення є ще більш значущою, що очевидно навіть із візуального порівняння амперсекундних площ відповідних сплесків струму. Можна показати, що причиною такого ефекту є увімкнення трансформатора за таких фази і полярності вхідної напруги, при яких буде спостерігатися подальше збільшення насичення магнітопроводу осердя трансформатора. Іншими словами, за час безструмової паузи для первинної обмотки не відбулося повернення магнітопроводу до нульових початкових умов по магнітному потоку, які були наявні при первинному увімкненні.

Якщо не враховувати асинхронізм комутації трансформатора (рис. 3), то необхідно обмежити сплески струму й запобігти суттєвому їх збільшенню, для випадків повторного увімкнення, ілюстрація одного із яких наведена на рис. 4. Шлях до цього можна виявити прослідкувавши зміну магнітного потоку осердя після вимкнення первинної обмотки трансформатора від джерела живлення, що повністю дозволяє модель рис. 2. На рис. 5 показано, як змінюється значення магнітного потоку осердя трансформатора при його вимкненні від джерела живлення за досить значних варіацій навантаження.

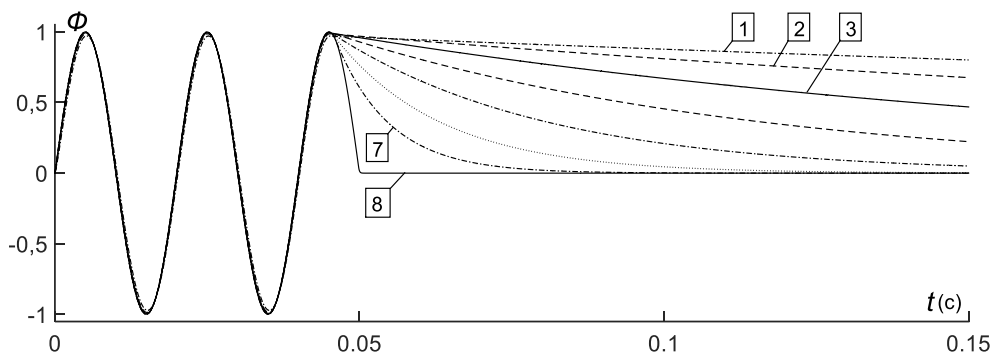


Рис. 5. Магнітний потік при варіаціях навантаження

При цьому крива 1 відповідає чотирикратному перевантаженню трансформатора, крива 2 – його двократній величині, графік 3 – номінальній потужності навантаження. Інші залежності в відсотках від номінального навантаження, в порядку своєї послідовності (номерів), представлені на рис. 5 та відповідають значенням у 50 %, 25 %, 12,5 %, 6,25 %, і завершуючи режимом неробочого (холостого) ходу трансформатора (крива 8).

З наведеного сімейства кривих випливає, що струм навантаження вторинної обмотки I_n відіграє в електромагнітних процесах при комутації трансформатора, свого роду роль, яка має в механічних системах маса, тобто параметр, що визначає інерційність процесу, в даному випадку – спаду потоку Φ . Таким чином, більшим значенням I_n відповідає як найменша швидкість спаду магнітного потоку (криві 1, 2, рис. 5) і навпаки, меншим значенням I_n відповідає найбільша швидкість спаду потоку (криві 7, 8, рис. 5). Тобто при $I_n = 0$ швидкість спаду потоку буде максимальною і він досягне свого нульового значення за чверть періоду напруги (крива 8, рис. 5).

Дослідженнями встановлено, що наведені результати для комутації однофазних трансформаторів, справедливі і для трифазних трансформаторів. Але додатково, для трифазних трансформаторів характерною особливістю електромагнітних комутаційних процесів стає розгалуженість магнітного потоку осердя таких трансформаторів.

Висновки. Таким чином, при необхідності найшвидшого досягнення нульових початкових умов для магнітопроводу ($\Phi = 0$), необхідно перед вимкненням трансформатора від'єднати його навантаження. Із цього випливає цілком практичний результат, що для увімкнення трансформатора на напругу і її зняття з нього завжди бажано мати два комутатори – один на стороні первинної обмотки, а інший – на вторинній. Алгоритм вимкнення трансформатора полягає спочатку у знятті навантаження на вторинній обмотці, а потім його обезструмлення на первинній. Увімкнення в роботу виконується в зворотному порядку.

Список використаних джерел

1. Кондахчан В. С. Эксплуатация трансформаторов / В. С. Кондахчан. – М. : Госэнергоиздат, 1950. – 256 с.
2. Заруба И. И. Усовершенствование трансформаторов для ручной дуговой сварки / И. И. Заруба, В. В. Андреев, В. В. Дыменко // Автоматическая сварка. – 2001. – № 3. – С. 45-48.
3. Разработка высокоэффективных способов дуговой сварки и их применение / И. Кидзи, К. Кобаяси, Д. Исии, Х. Ямаока // Автоматическая сварка. – 2003. – № 10-11. – С. 59-63.

4. Пентегов И. В. Устройства подавления высших гармоник тока / И. В. Пентегов, И. В. Волков, М. Левин // *Технічна електродинаміка: Тем. випуск. Проблеми сучасної електротехніки.* – 2002. – Ч. 1. – С. 13-22.
5. International Electrotechnical Commission 61000-3-2:2014 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase). – 69 p.
6. Андрианов А. А. Оптимизация режимов стабилизации сварочной дуги переменного тока / А. А. Андрианов, В. Н. Сидорев // *Електротехніка і електромеханіка.* – 2009. – № 2. – С. 5-8.
7. Андреев В. В. Имитационное моделирование электрических схем как этап разработки специализированных источников питания с управляемой формой переменного тока [Электронный ресурс] / В. В. Андреев, Е. М. Ефременко, Г. Н. Москович // *Автоматическая сварка.* – 2011. – № 2. – С. 9-12. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/as_2011_2_3.
8. Петров Г. Н. Электрические машины: Введение. Трансформаторы / Г. Н. Петров. – М.: Энергия, 1974. – Ч. 1. – 240 с.
9. Липківський К. О. Процеси та організація комутації трансформаторів / К. О. Липківський, В. А. Халіков // *Технічна електродинаміка.* – 2010. – № 5. – С. 22-30.
10. Офіційний сайт Мінського електротехнічного заводу ім. В. І. Козлова [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://metz.by>.

References

1. Kondakhchan, V.S. (1950). *Ekspluatatsiya transformatorov [Operation of transformers]*. Gosenergoizdat.
2. Zaruba, I.I., Andreev, V.V., & Dymenko, V.V. (2001). *Uovershenstvovaniye transformatorov dlya ruchnoy dugovoy svarki [Improvement of transformers for manual arc welding]*. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, (3), 45-48.
3. Kiji, I., Kobayashi, K., Ishii, D., & Yamaoka, H. (2003). *Razrabotka vysokoeffektivnykh sposobov dugovoy svarki i ikh primeneniye [Development of highly efficient arc welding methods and their application]*. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, (10-11), 59-63.
4. Pentegov, I.V., Volkov, I.V., Levin, M. (2002). *Ustroystva podavleniya vysshikh garmonik toka [Devices for suppressing higher current harmonics]*. *Tekhnichna elektrodinamika. Tem. vipusk. Problemy suchasnoi elektrotekhniki – Technical Electrodynamics, Tem. release. Current problems electrical engineering*, 1, 13-22.
5. Mezhdunarodnaia elektrotekhnicheskaya komissiya 61000-3-2:2014 *Elektromagnitnyye sovместimost' (EMS) – Chast 3-2: Ogranicheniia. Ogranicheniia na emissiiu garmonicheskikh tokov (vkhodnoy tok oborudovaniya ≤ 16 A na fazu) [International Electrotechnical Commission 61000-3-2:2014 Electromagnetic compatibility (EMC)] - Part 3-2: Limits – Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)*.
6. Andrianov, A.A., & Sidorets V.N. (2009). *Optimizatsiya rezhimov stabilizatsii svarochnoy dugi peremennogo toka [Optimization of welding stabilization modes AC arcs]*. *Yeletrotekhnika i elektromekhanika – Electrical engineering and electromechanics*, (2), 5-8.
7. Andreev, V.V., Efremenko, E.M., & Moskovich, G.N. (2011). *Imitatsionnoye modelirovaniye elektricheskikh skhem kak etap razrabotki spetsializirovannykh istochnikov pitaniya s upravlyayemoy formoy peremennogo toka [Simulation of electrical circuits as a stage in the development of specialized power sources with a controlled form of alternating current]*. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, (2), 9-12. http://nbuv.gov.ua/UJRN/as_2011_2_3.
8. Petrov, G.N. (1974). *Elektricheskiye mashiny [Electric machines]. Vvedenie. Transformatory – Energiia Introduction. Transformers (Vol. 1)*.
9. Lypkivskiy, K.O., & Khalikov, V.A. (2010). *Protsesy ta orhanizatsiya komutatsiyi transformatoriv [Processes and organization of switching transformers]*. *Tekhnichna elektrodinamika – Technical electrodynamics*, (5), 22-30.
10. Ofitsiynyy sayt Minskoho elektrotekhnichnogo zavodu im. V. I. Kozlova [The official website of the Minsk Electrotechnical Plant named after V.I. Kozlova]. <https://metz.by>.

Отримано 11.09.2022

Valery Kyryk¹, Volodymyr Khalikov², Anatoly Zhernosekov³, Oleksandr Shatan⁴

¹Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief of Electrical Networks and Systems Department, National technical University of Ukraine «Igor Sikorsky KPI» (Kyiv, Ukraine)

E-mail: ykyryk@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-8934>

²Doctor of Technical Sciences, Senior Research Fellow, Senior Lecturer of Electrical Networks and Systems Department, National technical University of Ukraine «Igor Sikorsky KPI» (Kyiv, Ukraine).

E-mail: xvavlad@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1691-5005>

Scopus Author ID: [55327787500](https://orcid.org/0000-0003-1691-5005)

³Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Department of Pulsed Processes and Technology of Arc Welding Paton Electric Welding Institute NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: zhernosekov@paton.kiev.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6404-2221>

Scopus Author ID: [6506774085](https://orcid.org/0000-0002-6404-2221)

⁴Scientific Researcher, Paton Electric Welding Institute NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: shatanaf57@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6553-7421>

ORGANIZATION OF ASYNCHRONOUS TRANSIENT RESPONSE OF TRANSFORMER TAKING INTO ACCOUNT THE INERTIA OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES

Transformers are an indispensable component of various types of electrical circuits. Various restrictions are imposed on the transformer switching operation, which are caused by the functional purpose of the systems, their configuration, parameters and characteristics of existing or available switching components or devices and associated transient processes.

When the power transformer is switched on asynchronously, current surges in its primary winding, including in modes close to the minimum load, may exceed its nominal current by several times. Such processes are undesirable from the point of view of energy efficiency, electromagnetic compatibility, transformer reliability and the functioning of protection systems. The purpose of the study is to organize the switching of the transformer in such a way that it achieves its output to a stable mode of operation with a minimum amplitude of the input current and the duration of the transition process, without extreme manifestations in the switching process.

Algebraic, graphic, and simulation-visual aspects of the analysis of the processes occurring during power transformer commutation are considered in the work. It is shown that the repeated switching on of the transformer can lead to a significantly larger current surge in the primary winding compared to the first switching on, and the reason for this phenomenon is the magnitude of the magnetic flux at the time of repeated commutation. It is shown that the value of the flux and its change depends on the amount of load on the secondary winding, and lower values of the load correspond to higher values of the rate of decline of the magnetic flux of the transformer core and vice versa. The following switching algorithm of the transformer is recommended, in which each subsequent switching on of the transformer will start with a close to zero value of the magnetic field flux.

Key words: transformer, magnetic flux, magnetic field saturation, switch, commutation, organization of commutation, transient process, modeling.

Fig.: 5. References: 10.

Róbert Rákay

PhD in Technical Sciences, Assistant Professor
Technical University of Kosice (Košice, Slovakia)

E-mail: robert.rakay@tuke.sk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7151-3749>

ResearcherID: [AAA-5056-2020](https://orcid.org/AAA-5056-2020). Scopus Author ID: [56922070700](https://orcid.org/56922070700)

**SENSOR EXPANSION FOR INDUSTRIAL CONTROLLER
BASED ON IOT GATEWAY**

Based on the current trends of industrial applications and internet of things, a distributed system solution is proposed. The work presents a description of used communication methods, connected devices, the support software and the necessary configuration. Low-cost IoT-based sensor augmentation can be used to keep older machines and companies competitive when new equipment is not available for purchase. The main sensor functions of an older industrial controller can be extended by the data, which is measured on the microcontrollers. This is demonstrated on the example of a system solution with detailed set up and configuration.

Keywords: sensors; iot; gateway; expansion; controller.

Fig.: 6. Table: 3. References: 11.

Urgency of the research. In the current economic situation, every legacy machine owner wants to upgrade their machinery or system to a more advanced solution. With the actual available technical and communication solutions the diagnostics and maintenance of the machinery can be solved easily or even remotely from the actual application. Although many vendors offer a wide range of additional features and capabilities, in many cases these devices are out of stock due to extended delivery term. Additionally, many machines work at high efficiency using older type of controllers and there is a risk of the replacement whether the upgrade can fulfill the actual requirements. On the other hand, microcontrollers and their variants standardized for industrial application are gaining on popularity. The possibilities for microcontrollers also include wireless communication, low power consumption and in many cases very low purchase price [1-3].

The current situation created by the COVID-19 pandemic urges to find interdisciplinary solutions and ways to upgrade or at least hold the efficiency of machinery and systems as long as possible. Measuring additional parameters for maintenance and monitoring purposes are the basics steps of protection against unnecessary downtimes or failures [2-5].

Target setting. The concept of a solution to connect information from microcontroller-based measurement to an industrial controller is motivated to help SMEs and legacy OEMs to keep their productivity and efficiency with the already used tools and with a smaller investment to the production.

IoT Gateway. The wave of Internet of Things (industrial and commercial) created a wide range of different microcontrollers and cloud solutions for data transfer and processing. The main goal is simply to share data, at low cost, low power, and if it's possible wirelessly. In many cases these devices are battery powered and easily replaced. With the operation of IoT thing we can monitor parameters as temperature, humidity, presence, vibration etc. The gathered data has to be processed, stored and transferred to other devices like supervisor controller or central control unit where the suitable reactions are also created. [2-5] One of the possible solutions is to use a Raspberry Pi as an IoT Gateway. In this role it will work as a central network node which not only collects all the data, but also transfers them between the other nodes of the network. With its computing capabilities it can also solve other tasks such data logging, remote monitoring interface, etc. Because of the communication interfaces, there are many ways to communicate with such device, and sometimes it's not necessary to work via Internet based connection and it's possible to separate the system physically [7-8].

Requirements for equipment. The proposed example solution includes an industrial programmable relay equipped with digital and analog input and outputs. The system should be integrated to a control cabinet and as main control task it can solve applications like sorting, transporting, handling, manipulation etc. Because of unpredictable requirements the devices in the control cabinet have been changed and also some mechanical parts were replaced. These differences create an uncertainty and danger that the system can fail for high temperature, vibration, factor etc. For this kind of problems, a separated controller and sensor can be applied [6-11].

Communication. The data transfer between each device of the proposed solution combines the gateway functionality of the Node-RED programming environment and the communication capabilities of the other devices. The LOGO! industrial uses its integrated Ethernet interface to communicate using the S7comm protocol. This is a Siemens protocol created primarily to transfer data between the Siemens controllers and SCADA systems. It defines the Session, Presentation and Application Layer of the ISO/OSI model.

MQTT stands for Message Queue Telemetry Transport protocol. This is one of the most popular IoT communication protocols. It uses the client server relation between the network nodes, with publishing and subscription methodologies to transfer messages. The central node of the MQTT network is a broker who ensures the correct connection and quality of the message transportation. Its lightweight, open, simple protocol designed for easy implementation in various platforms. With its main characteristics it's suitable for machine-to-machine and network context.

The research objective. The main objective of this article is a proposal and subsequent testing of a hybrid automated system that collects data from microcontroller-based platform and transfers data via another network device to industrial controller to extend its sensorial peripheries. The proposed system can be used as a working example, or as a template solution for similar combination of devices.

The statement of basic materials. The main control device of an example industrial machinery is the Siemens LOGO! With its basic version it has integrated inputs and outputs. The LOGO! is suitable for small industrial automation applications where logical relations between the input signals are used to create a response. It's used also in building automation, remote monitoring, and logistics applications etc. The main central unit without additional hardware supports Ethernet based communication via S7 communication protocol. The LOGO!Soft Comfort software was used to program the LOGO!. The technical parameters of the LOGO!12/24 RCE are in the following table.

Table 1. Technical parameters LOGO! 12/24 RCE

Power supply	24 VDC
Digital Inputs	8 x (4 configurable)
Analog Inputs	Up to 4 x (configured from the digital inputs)
Digital Outputs	4 x Relay type
Integrated display	Up to 6 rows, 3 color backlight
Communication Interface	1 x Ethernet Port (10/100 Mbps)

The external signal for the LOGO! controller is created by measurement of temperature via microcontroller. ESP32 is used in the proposed system. The ESP32 has integrated I/O pins, but the major difference is that the operation voltage is not a classic 24VDC, but 3.3 and 5V. Additionally the ESP32 has integrated Wi-Fi and Bluetooth interfaces. The control program for both ESPs was created in Arduino IDE. The main technical parameters are listed in the next table.

Table 2. Technical parameters ESP32

Power supply	3.3-5 VDC
Digital I/O	30 pins
Integrated Peripherals	capacitive touch, ADCs, DACs, UART, SPI, I2C
Processing memory	512 kB RAM
Clock freq. of proc.	240MHz
Communication Interface	Wi-Fi and Bluetooth

The ESP32 has multiple communication interfaces and to measure the environment temperature a DHT11 and DS18B20 temperature sensors were connected to each module. This temperature can be represented as temperature in the control cabinet, or contact temperature, where critical mechanical part has high friction. Based on this measured value we can predict or prevent malfunction and reduce downtimes, depending on the control logic and connected appliances we can turn on a safety device, turn of the relevant output or call maintenance. The basic functionality for both ESPs was to collect the temperature data and additionally connect to Wi-Fi network. A topic was updated after the successful connection via MQTT protocol. The Node-RED was subscribed to this topic. In this case, the values represented temperature for 2 different positions of a production line/experimental trainer.

Node-RED is a free programming environment. Its main functionality is to connect various hardware devices and software services. Thanks for its browser-based editor it can work on different platforms i.e., pc, raspberry pi, server, virtual machine. The principle of work is to separately process “message payloads” with usually small code and functions, then transfer this “payload” to a different function and make another action with it. There is a lot of predefined functions and solutions already available, and with JavaScript based programming new functions and solutions are implementable to the environment.

Communication configuration. The following configuration steps has been taken to successfully set up each node of the proposed solution. First the LOGO! Programmable Relay was configured. The necessary steps include IPv4 addressing and S7comm permission. Part of the example control program with the communication configuration of the relay is shown on the following Fig. 1.

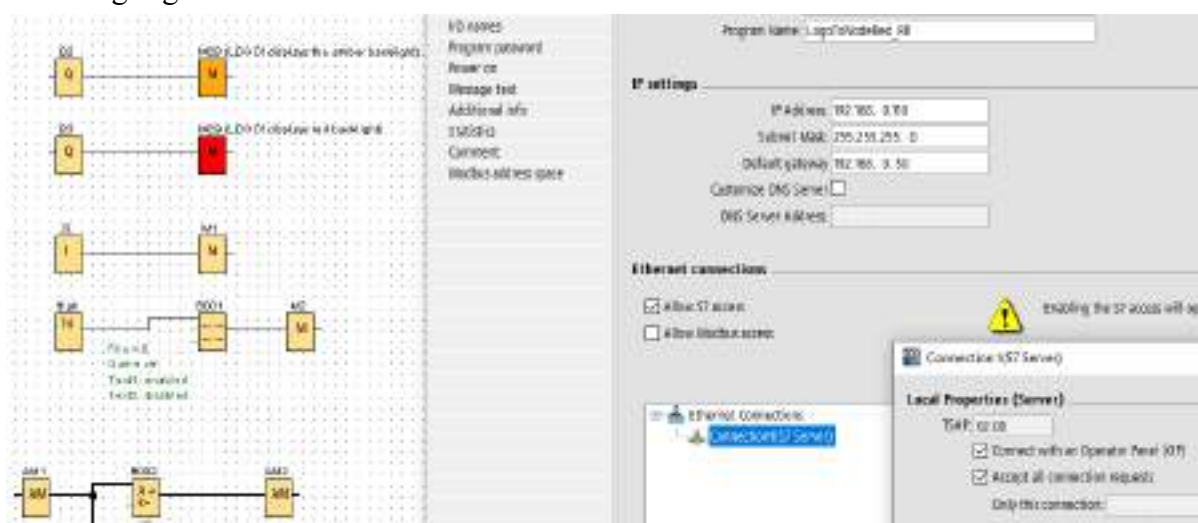


Fig. 1. LOGO!Soft Comfort and configuration

The next step was to set up the Node-RED connection to the LOGO!. The main parameters for this setup are shown below. (Fig. 2). This includes TCP communication between the LOGO! and the Node-RED. The base is the IP address of the devices, with additional communicated variables inside the hardware.

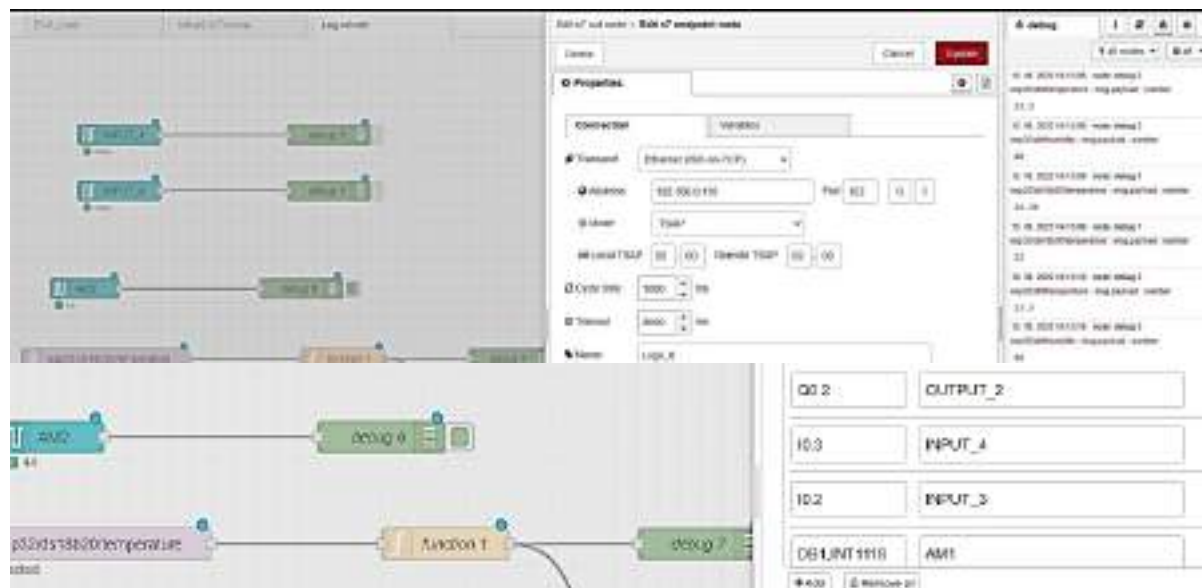


Fig. 2. Node-RED communication setup-LOGO!

Finally, the MQTT communication is configured. The IP address also needs a connection for the appropriate "topic" and quality of service. Details of this program part are shown below (Fig. 3).

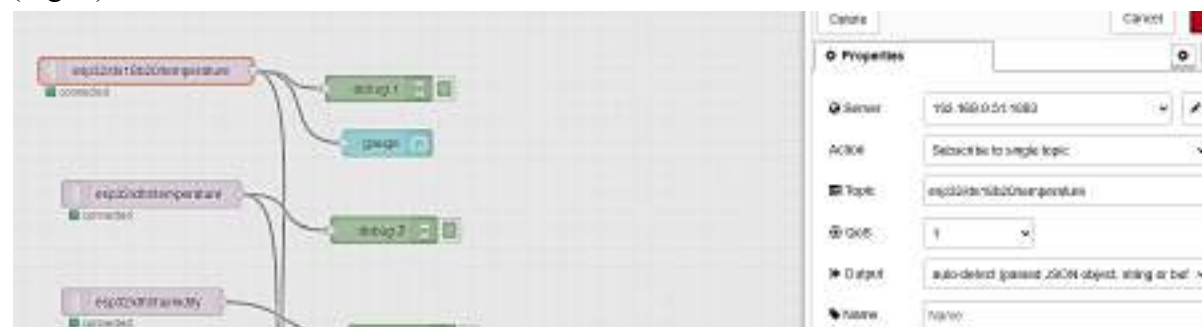


Fig. 3. Node-RED communication setup-ESP

Wireshark application can be used to check the ongoing communication between each network node. We can collect additional data, catch the transferred packets via this network tool. The Node-RED debugger view also provides help as a basic communication window.

Detailed view of the ongoing communication between the LOGO!, Raspberry Pi and ESP32s is shown on the following figures.

Figure 4, on the next page, shows the created working network activity, where the sending, receiving IP addresses with the protocols and the details of what data are „caught “. The Table 3 below lists the message system with IP address, name and protocol for the proposed system.

Table 3. Parameters of the network

Sender	Receiver	Protocol	Message Detail
192.168.0.51 (MQTT broker)	192.168.0.84 (ESP32_DS18B20)	MQTT	Received Message on Topic
192.168.0.80 (ESP32_DHT11)	192.168.0.51 (MQTT broker)	MQTT	Topic Published to Broker
192.168.0.110 (LOGO!)	192.168.0.51 (Node-RED)	S7comm	Variable Reading Job
192.168.0.51 (Node-RED)	192.168.0.110 (LOGO!)	S7comm	Acknowledge of correct data

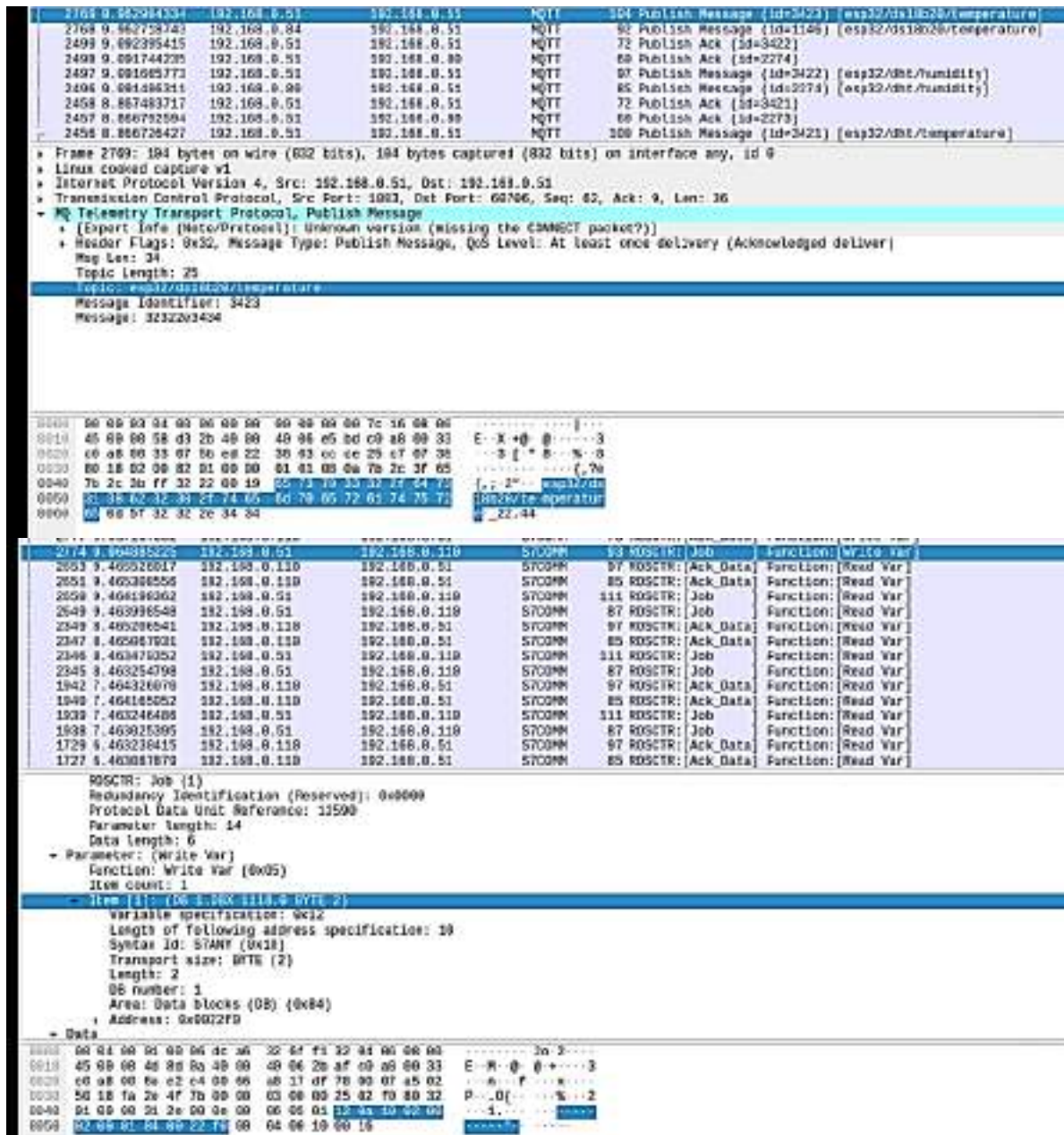


Fig. 4. Wireshark communication check

Used method. The aim of this solution is to extend the sensorial functions of programmable relays. With the help of additional sensors, an older controller, an outdated machine can be connected to another controller, even a microcontroller or a device with non-standard sensor options. The overall concept of the system consists of industrial controller, two microcontrollers and an IoT Gateway. The main control unit, or programmable controller, solves its main purpose, to control the ongoing industrial process or machinery. These kinds of systems typically are equipped with digital and analog I/O cards. In some cases, there are additional specialized expansion modules for tasks like temperature or weight measurement. Usually at least one or two communication interfaces are also available to transfer relevant signals to a different controller or SCADA system. The controller is connected to IoT Gateway, which in our case is Raspberry Pi with installed Node-RED. Their function is to separately collect and transfer data between other devices of the network. The next group of devices include microcontrollers and sensors connected to them. The measured value is transferred via wireless connection to the IoT Gateway and processed. Optionally the data can be sent to industrial controller, database or other service on the server or cloud.

The proposed system structure is shown on Fig. 5.

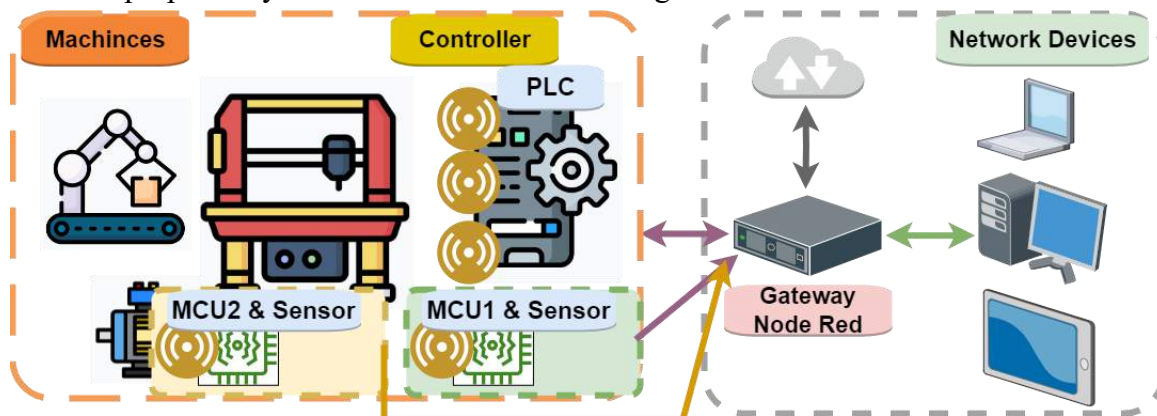


Fig. 5. System structure

Conclusion. This paper describes a proposal of sensorial expansion for industrial controllers based on IoT gateway and microcontrollers. While the modern industrial applications and control units support a wide range of additional maintenance and diagnostic functionalities, many existing companies are not able to upgrade or have concerns about replacing their current systems. In the actual situation after the pandemic, many industrial device vendors are not able to fulfill the demand on required devices in short time, therefore an interdisciplinary solution is proposed to add extra capabilities to legacy machines. The integrated microcontrollers allow to connect sensors that can create useful data about the temperature, vibrations, presence and other parameters from the ongoing process. With the proposed Gateway it's possible to transfer data between different devices, and software services locally or remotely. The article aims to introduce the essential steps for successful IoT implementation of the system design and describes a functioning principle of the proposed devices and the communication methods. The most important solution aspect was to create a working communication channel between the industrial programmable relay and the microcontroller.

The proposed system is divided into 4 main devices and software parts. The main industrial unit is a Siemens LOGO!, which can directly control an industrial process. S7comm protocol is available for communication with other devices. This is used to connect to the IoT Gateway. The 2 microcontrollers measure the temperature in the example temperature of the control cabinet and the mechanical part. The ESPs use MQTT communication to transfer data to the gateway. Raspberry Pi, the Node-RED software support the interchange between various communication channels on the IoT Gateway, and if needed, transforms or process the data. The flow of the Node-RED, an alarm, database, visualization and other services can extend the function of the current solution depending on the program. The proposed system can be used as a basis for real application or as knowledge basis for further experiments and development.

Acknowledgment. This work has been supported by the Slovak Grant KEGA 031TUKE-4/2022 Innovation of methods and instruments in education of automation in the context of Industry 4.0.

References

1. Miralles J. Monitoring temperature and humidity. [Electronic resource]. – Access to the resource: http://www.hackster.io/jaume_miralles/monitoring-temperature-and-humidity-with-esp32-f53465.
2. Getting Started with the ESP32 Development Board [Electronic resource]. – Access to the resource: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32>.
3. Tilak, S. Making Legacy Machines Smart. [online]. 2020 [Electronic resource]. – Access to the resource: <https://blog.isa.org/making-legacy-machines-smart#:~:text=These%20are%20machines%20or%20industrial,sizeable%20population%20of%20legacy%20machines>.
4. Galajdová, A., Rákay, R. On local wireless remote control, 2020, In: MM Science Journal. - Prague (Czech Republic), pp. 4093-4096 [print, online]. - ISSN 1803-1269 [Electronic resource]. – Access to the resource: https://doi.org/10.17973/MMSJ.2020_11_2020034.

5. PATEL KK., PATEL SM. Internet of Things–IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 2016; 6 (5): 6122–6131.

6. Rákay, R., Galajdová, A., Vagaš, M. Non-invasive monitoring of technical devices using IOT tools 2022 In: QUAERE 2022 pp. 640-647. - ISBN 978-80-87952-36-8 (online) [Electronic resource]. – Access to the resource: https://www.vedeckekonference.cz/library/proceedings/quaere_2022.pdf.

7. Rákay, R. Monitoring of environment parameters based on wireless sensor network, 2021 In: Technical Sciences and Technologies. - Černihiv (Ukrainia): Chernihiv National University of Technology. 25, no. 3 (2021), pp. 193-201 [print]. - ISSN 2411-5363 [Electronic resource]. – Access to the resource: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3\(25\)-193-201](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3(25)-193-201).

8. Mechatronics and factory automation. [Electronic resource]. – Access to the resource: https://www.expo21xx.com/office21xx/15665_st3_technical/default.htm.

9. Vagaš, M., Galajdová, A., Šimšík, D., IO-link field parameterization for data collection based on RFID technology, 2020, Cybernetics & Informatics (K&I): 30th International Conference. IEEE Society on Social Implications of Technology, pp. 1-6.

10. Šarga, P., Strnisko, P. Proposal of monitoring of the heat exchanger station 2021. Technical Sciences and Technologies. 25(3), pp. 237-243. [Electronic resource]. – Access to the resource: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3\(25\)-237-243](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-3(25)-237-243).

11. Vagaš, M., Šeminský, J., Džongov, M., The example of vision system deployment to the automated workplace, 2020, Interdisciplinarity in Theory and Practice: Journal for Presentation of Interdisciplinary Approaches in Various Fields, 21, pp. 53-57.

Отримано 24.09.2022

УДК 681.5.004

Роберт Ракай

кандидат технічних наук доцент,

Кошицький технічний університет (Кошице, Словаччина)

E-mail: robert.rakay@tuke.sk. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7151-3749>

ResearcherID: [AAA-5056-2020](https://orcid.org/0000-0002-7151-3749). Scopus Author ID: [56922070700](https://orcid.org/0000-0002-7151-3749)

РОЗШИРЕННЯ СЕНСОРІВ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО КОНТРОЛERA НА ОСНОВІ ШЛЮЗУ ІОТ

Використання сучасних розробок і доступних технічних і комунікаційних технологій дозволяє збільшити сенсорну здатність різних пристроїв управління, таких як програмовані реле або промислові програмовані логічні контролери. Базу датчиків можна значно розширити, розподіливши збір даних через недорогі пристрої, такі як мікроконтролери.

У минулому в процесі проектування промислових виробничих ліній або автоматизованих систем зазвичай не було цілей самодіагностики системи або діагностики машин. У поточній ситуації на ринку промислових пристроїв, де багато пристроїв недоступні або відсутні в наявності, рішення для оновлення сенсорної частини застарілого обладнання є важливим.

Фактичні наукові дослідження та аналіз рішень щодо сенсорного розширення промислових програмованих контролерів показали, що сьогодні більшість додатків не розраховуються з відсутністю нового апаратного забезпечення або плат розширення для контролерів.

Мета статті – запропонувати рішення для модернізації застарілого промислового обладнання, де потрібні датчики нового типу для моніторингу поточного процесу або збору діагностичних даних для завдання технічного обслуговування.

На основі принципів і підходів функціонального аналізу технічних систем в роботі представлено метод розширення сенсорних можливостей промислових контролерів для цілей обслуговування та діагностики. Основні програмні та апаратні компоненти описані як приклад рішення.

У цій роботі пропонується недороге сенсорне розширення для програмованих реле. Описано технічні параметри використовуваних засобів зв'язку та принцип їх роботи. Визначено функції технологічних пристосувань та продемонстровано їх прикладне застосування. Представлені матеріали та конфігурацію можна використовувати для підтримки реальної інтеграції в існуючу автоматизовану систему, наприклад, обробки матеріалів, сортування, автоматизації будівель тощо, де потрібно контролювати додаткові параметри. Незважаючи на те, що запропоноване рішення є прикладом проекту, орієнтованого на IoT, у поточному вигляді не потрібно використовувати пряме підключення до Інтернету та воно може працювати в локальній мережі компанії.

Ключові слова: датчики; іот; шлюз; розширення; контролер.

Рис.: 6. Табл.: 3. Бібл.: 11.

Rákay, R. (2022). Sensor expansion for industrial controller based on iot gateway. *Technical Sciences and Technologies*, (3(29)), 144-150.

Валентин Власюк

аспірант

*Криворізький національний університет (Кривий Ріг, Україна)*E-mail: Email_Valentin@ua.fm. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3202-8967>

МОДЕЛЮВАННЯ СТАТИЧНИХ І ДИНАМІЧНИХ АВАРІЙНИХ РЕЖИМІВ ТА АНАЛІЗ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ДІЛЬНИЧНОЇ ПІДЗЕМНОЇ ПІДСТАНЦІЇ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШАХТИ

Метою статті є практичне визначення можливостей для моделювання статичних і динамічних аварійних режимів роботи для дільничної підземної підстанції, що функціонує на залізорудній шахті. Запропонована та обґрунтована модель двох обмоткового трансформатора в середовищі Matlab Simulink R2020b. Комп'ютерне моделювання за допомогою програмного засобу Matlab Simulink R2020b дозволяє використати більші можливості для розрахунку системи електропостачання дільничної підземної підстанції, та удосконалити існуючу модель електропостачання дільничної підземної підстанції у статичних та динамічних режимах її функціонування.

Ключові слова: дільнична підстанція; залізорудна шахта; електропостачання; статичні й динамічні режими; комп'ютерне моделювання.

Рис. 5. Табл. 2. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Статичні й динамічні режими роботи дільничної підземної підстанції залізорудної шахти є невід'ємною частиною у функціонуванні її електроенергетичної системи. Від коректності роботи систем захисту й переходів від аварійних та нормальних режимів функціонування залежить її працездатність. Для її удосконалення необхідне проведення моделювання статичних та динамічних аварійних режимів її функціонування та проведення аналізу рівнів споживання електроенергії.

Постановка проблеми. Отримати функціонуючі моделі для статичних та динамічних режимів роботи ДПП залізорудних шахт. Отримання максимально реалістичних значень рівнів потужностей для кожних: статичного та динамічного аварійних режимів роботи дільничної підземної підстанції.

Оцінювання рівнів енергоефективності функціонування дільничних підземних підстанцій (ДПП) залізорудних шахт та вибір шляхів для покращення вищезгаданого показника доступно повною мірою шляхом моделювання процесу їх функціонування на основі реальних вхідних параметрів для розбудови алгоритму пошуку. Втілити цю ідею можливо за допомогою сучасного засобу візуального та математичного моделювання Matlab Simulink R2020b.

Для підземних електричних мереж, у яких одночасно експлуатується декілька ДПП з різними і непрогнозованими рівнями навантаження, ця проблема непроста для вирішення.

Задача, що покладена аналіз споживання електроенергії під час роботи дільничної підземної підстанції є головною, яку треба вирішити під час розроблення енергоефективної електричної мережі.

Провести аналіз результатів моделювання та порівняти результати моделювання з параметрами реально існуючої мережі електропостачання дільничної підземної підстанції.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Моделюванню та дослідженню статичних й динамічних режимів функціонування трансформаторних підстанцій у сьогоденні є низка публікацій. Водночас дані публікації не надають більш детального й належного проведення аналізу рівнів споживання у статичних та динамічних режимах, їх функціонування. Слід відмітити, що це не дозволяє у повній мірі реалізувати детальний розрахунок та аналіз якості споживання електроенергії, але і провокує створення негативних явищ – у вигляді виходу з ладу комутуючого обладнання й самої дільничної підземної підстанції. Так у роботах [3; 5; 7; 9; 10] було показано наступне: проведено дослідження негативності впливу електромагнітних полів ліній електропередач на рівні напруг 176/220 кВ та практичне вирішення цієї задачі, реалізованого за допомогою комп'ютерного моделювання, у результаті проведеного дослідження були отримані потенціальні можливості по зниженню впливів магнітних на ЛЕП в обсязі 40–80 %; виконаний аналіз проблеми не

ефективності функціонування на низьких рівнях завантаженості трансформатора на розподільчих мережах та розроблені заходи стосовно її підвищення та забезпечення ефективності функціонування даного електроустановлення; було встановлено діапазони граничних значень коефіцієнтів завантажень, при котрих є необхідність заміни трансформаторів у залежності від їхнього початкового рівня завантаженості та відповідної кількості годин для максимального навантаження та наведені вимоги, щодо резервування необхідних рівнів потужності для споживачів; наведена методика по реалізації компенсації реактивної потужності для електричних мереж та наведено відповідну методику для оцінювання ефективності передачі ЕЕ від джерела до навантаження за рахунок миттєвого показника потужностей, що розрахований на основі вимірних значень струму й напруги мережі; показано актуальність для впровадження компенсації залишкової реактивної потужності, яка виникає внаслідок появи нестационарного струму мережі, а також показано що при впровадженні додаткового компенсатора є можливим досягнення коефіцієнту потужності, котрий є близьким до 1 при невеликому збільшенні загально-встановленої потужності системи компенсації та адаптування його до наявних пульсацій струму у загальному компенсуючому пристрої.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведено аналіз рівнів споживання за потужностями: P , Q , S для статичних й аварійних режимів роботи ДПП. Використання результатів роботи дасть можливість для виконання аналізу перехідних режимів між статичними та динамічними (аварійними) режимами роботи енергосистеми залізничної шахти, що у подальшій перспективі дозволить знизити витрати на електроенергію споживану дільничною підземною підстанцією шахти, а також знизить час та вартість готового електрообладнання на проектування нових навантажень на енергосистему, а також втілити у життя інтелектуальну електричну мережу з керованими автоматизованими пристроями в режимі реального часу.

Мета статті. Метою цієї статті є відображення практичного визначення можливостей для моделювання статичних й динамічних аварійних режимів роботи. А саме: робота трансформатора для сталого режиму його функціонування, та режиму короткого замикання як один з аварійних режимів для дільничної підземної підстанції, що функціонує на залізничній шахті.

Виклад основного матеріалу. Вирішення задач пов'язаних із моделюванням статичних та динамічних режимів (номінальний режим функціонування та режим короткого замикання трансформатора) ця розробка пов'язана з виконанням їх комп'ютерного моделювання та використанням потужних сучасних програмних засобів, як, наприклад, Matlab Simulink R2020b.

У якості дослідного зразка узято типовий шахтний трансформатор ТСШВП100/6/0,4.

При цьому слід прийняти номінальні технічні характеристики вищенаведеного трансформатора з наступними допущеннями, що використовуємо для математичних моделей та віртуальної моделі системи електропостачання дільничної підземної підстанції залізничної шахти, тобто: електричні параметри первинної обмотки та наведені параметри вторинної обмотки прийнято рівними, при розрахунку номінального струму виключено вплив струму намагнічування, для холостого ходу ЕРС та напруга первинної обмотки є рівними один одному [1].

Зведемо основні технічні характеристики трансформатора в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні технологічні параметри шахтного трансформатора ДПП

Тип	$S_{2н}$, кВА	$U_{1н}$, кВ	$U_{2н}$, кВ	P_{xx} , кВт	P_k , кВт	I_{xx} , %	u_k , %
ТСШВП	100	10	0,4	0,55	1,14	1,6	2,8

де $S_{2н}$ – є номінальною потужністю трансформатора; $U_{1н}$ та $U_{2н}$ – відповідно номінальні параметри для вищої та нижчої сторін напруги трансформатора.

Враховуючи усі прийнятні допущення для створеної математичної моделі типового шахтного трансформатора ТСШВП100/6/0,4 на основі методики розрахунків [2-4], отримуємо:

Для побудови таблиці 2 знаходимо електричні параметри на основі даних з таблиці 1 при чому додатково знаходимо активні опори й індуктивності розсіювання обмоток трансформатора, котрий застосовується у ДПП з урахуванням параметрів намагнічування вітки.

Таблиця 2 – Вхідні технічні та експлуатаційні параметри шахтного трансформатора ДПП

№ з/п	Назва параметра	Величина	Одиниці вимірювання
1	номінальний фазний струм первинної обмотки трансформатора	5,774	А
2	повний опір короткого замикання	28	Ом
3	активна складова повного опору короткого замикання	12	Ом
4	активний опір первинної обмотки та приведений активний опір вторинної	6	Ом
5	коефіцієнт трансформації	25	-
6	активний опір вторинної обмотки	0,01	Ом
7	реактивний опір короткого замикання	25,298	Ом
8	індуктивність розсіювання первинної обмотки та приведена індуктивність розсіювання вторинної обмотки	$8,05 \cdot 10^{-2}$	Гн
9	індуктивність розсіювання вторинної обмотки	$1,29 \cdot 10^{-4}$	Гн
10	активний опір паралельного ланцюга намагнічуючого контуру схеми заміщення	181,82	кОм
11	активна складова струму холостого ходу	0,032	А
12	струм холостого ходу	0,092	А
13	намагнічувальна складова струму холостого ходу	0,086	А
14	взаємна індуктивність обмоток	213,693	Гн
15	амплітудне значення фазної напруги для первинної обмотки трансформатора	150	В
16	амплітудне значення фазної напруги для вторинної обмотки трансформатора	326	В
17	аварійний режим короткого замикання енергосистеми ДПП залізорудної шахти	447,75	В

На наступних етапах виконано безпосередньо моделювання та введення розрахованих параметрів енергетичної системи дільничної підземної підстанції залізорудної шахти безпосередньо в середовище Matlab Simulink R2020b.

Для побудови функціонуючих моделей ДПП для номінального режиму функціонування та режиму короткого замикання відповідно дані таблиць 1 та 2, вносяться у саму модель: у розрахункові блоки AC Voltage Source (рис. 1, б) та Linear Transformer (рис. 1, а) [5-10].

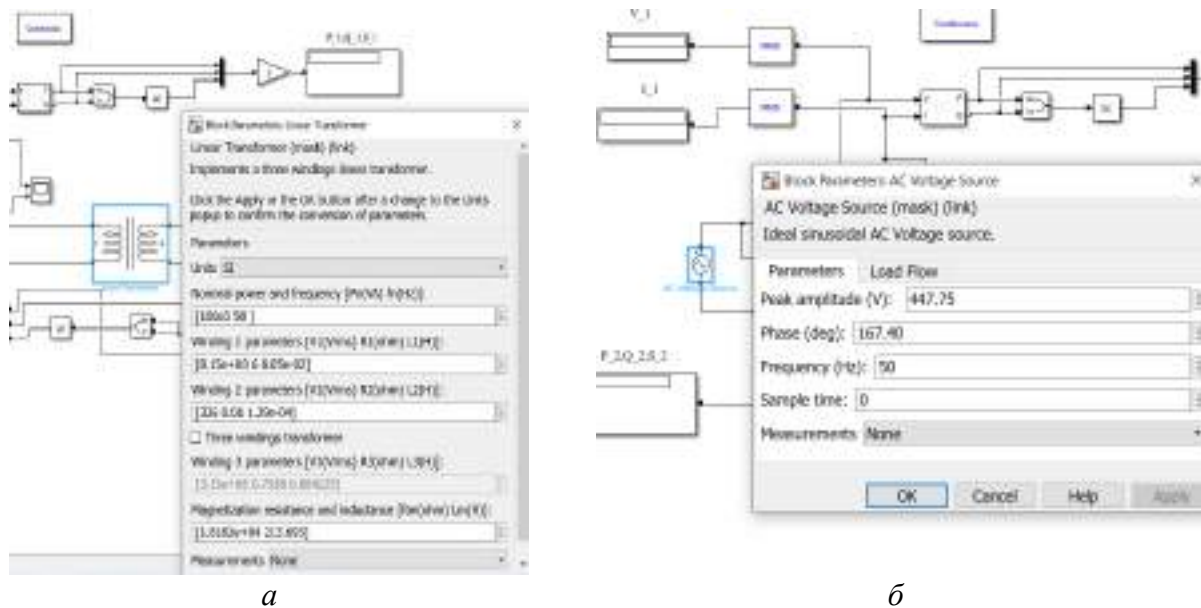


Рис. 1. Розрахункові блоки (з внесеними технічними параметрами) для математичної моделі ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2020b близької до номінального режиму споживання ЕЕ за нормальних умов її функціонування

Згідно з введеними раніше виконаними етапами та номінальними параметрами математична модель енергетичної системи дільничної підземної підстанції залізорудної шахти буде мати такий вид (рис. 2):

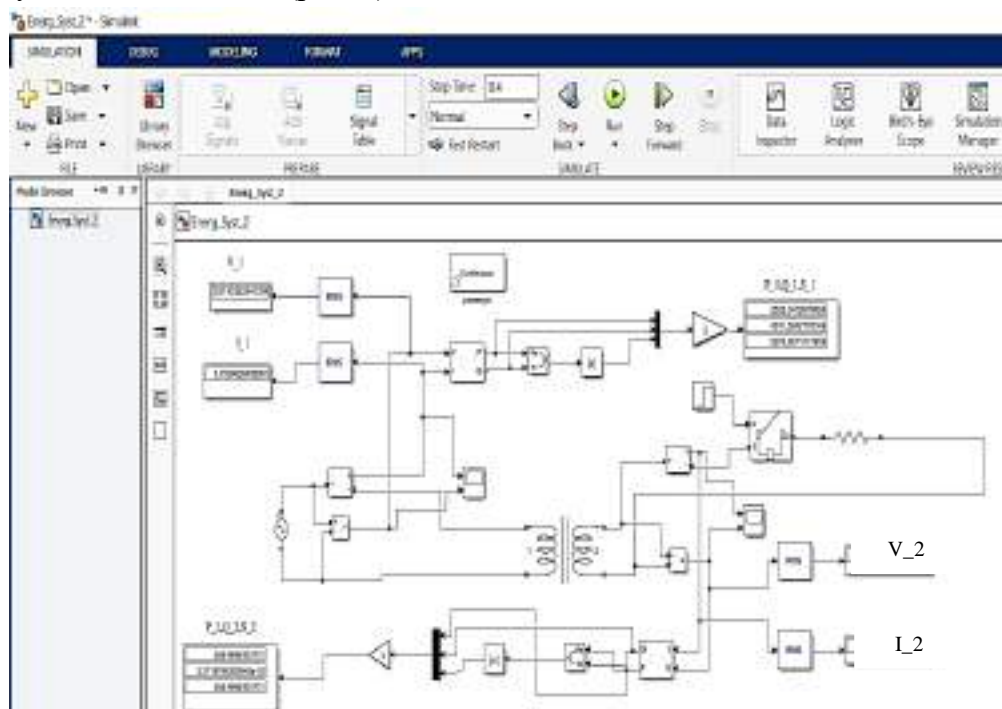


Рис. 2. Аналітично-математична модель ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2020b близька до номінального режиму споживання ЕЕ за нормальних умов її функціонування

Для виконання аналітично-математичної моделі ДПП залізорудної шахти (рис. 2) у блоці Step встановлено параметр часу на рівні 0,4 с, також внесено у вікно параметра AC Voltage Source амплітудне значення фазної напруги $\sqrt{2}U_1/\sqrt{3}$ та частоту промислової мережі 50 Гц. У вікно параметра Resistance вносяться значення опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10 % від попереднього його значення (збільшення на 18,18 кОм).

При цьому точність обрахунку моделі встановлена на рівні 10^{-6} . Саме ці показники необхідні для моделювання для виконання цієї моделі, що є близькою до номінального режиму споживання ЕЕ за умови нормального її функціонування.

Для подальшого аналізу споживання електроенергії на основі споживаних потужностей (P, Q, S) підземною підстанцією залізорудної шахти проведемо декілька дослідів з різними коефіцієнтами завантаження та побудуємо графіки зміни цих параметрів.

Як видно з графіка рис. 3 та рис. 2 ця модель показує рівні споживання ЕЕ дільничною підземною підстанцією ЕЕ за трьома параметрами потужності: активної, реактивної та повної при умові номінального режиму роботи та динамічної зміни навантаження (0,1 – 0,75 K₃) від її максимуму.

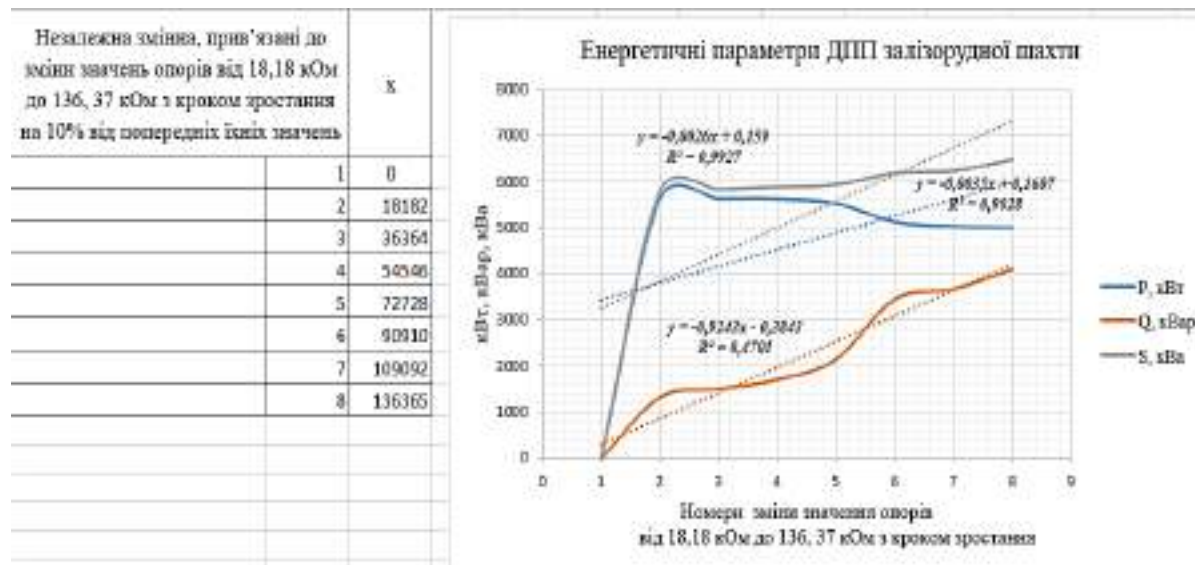


Рис. 3 Динаміка зміни споживаних потужностей підземною підстанцією залізорудної шахти близької до номінального режиму

Відповідно синім, червоним та салатовим кольорами позначено потужності: активна, реактивна та повна.

Рівняння: $y = -0,0035x + 0,1607$, $y = -0,0026x + 0,159$ та $y = -0,9243x - 0,3843$ є рівняннями регресії для динамічних змін потужностей активної, реактивної та повної (P, Q, S; кВт, кВар, кВа) підземною підстанцією залізорудної шахти, котра працює у режимі близькому до номінального, а значення: $R^2 = 0,9028$, $R^2 = 0,9927$, $R^2 = 0,4701$ – це довірчі інтервали обраховані за методикою Стьюдента.

Для кожного з рівнянь наведених вище параметри та змінні позначаються наступним чином: x – незалежна змінна, y – залежна від величини x змінна та ставиться у відповідність до кожної з потужностей: активної (P, кВт), реактивної (Q, кВар) та повної (S, кВа), а для значення x – незалежні змінні (прив'язані до зміни значень опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10% від попередніх їхніх значень).

Рівняння $y = -0,0035x + 0,1607$ та $R^2 = 0,9028$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню активної потужності P, кВт.

Рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню реактивної потужності Q, кВар.

Рівняння $y = -0,0026x + 0,159$ та $R^2 = 0,9927$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню повної потужності S, кВа.

Дані рівняння для аналітично-математичної моделі ДПП залізорудної шахти близької до номінального режиму функціонування показують адекватність її функціонування, оскільки:

Для активної потужності (P , кВт) – оскільки $R^2 > 0,7$ та < 1 , то цей кореляційний зв'язок є сильним, для повної потужності (S , кВа) – є також сильним, тому що $R^2 > 0,7$ та < 1 , але для реактивної потужності (Q , кВар) - $0,3 < R^2 \leq 0,7$ – цей зв'язок є середньої сили.

Середньої сили зв'язок для рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – пояснюється незначними змінами величини реактивної потужності (Q , кВар) від певного її значення або стабілізації її на певному значенні в межах статистичної похибки не більше ніж 5–10 % для трифазної системи живлення ДПП залізорудної шахти.

Слід також відмітити, що даний результат отриманий на рис. 3 є типовим для режиму близького до номінального режиму – є свідченням відмінної збіжності матмоделі ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2021b [11; 12].

Для моделювання динамічного аварійного режиму функціонування дільничної підземної підстанції залізорудної шахти створимо іншу аналітично-математичну модель у середовищі Matlab Simulink 2020b.

Для виконання аналітично – математичної моделі ДПП залізорудної шахти (див. рис. 4) у блоці Step встановлено параметр часу на рівні 0,4 с. Для вікна параметру AC Voltage Source внесено амплітудне значення фазної напруги знижено до рівня $\sqrt{2}U_1/\sqrt{3} \cdot 0,055$ та частота мережі 50 Гц. Для вікна параметрів Resistance вносяться значення опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10% від попереднього його значення (збільшення на 18,18 кОм). Для цього доповнюємо дану модель ще блоком Resistance1, де змінюємо його внутрішній опір на рівень 10^{-12} Ом. При цьому точність обрахунку даної моделі встановлюємо на рівні 10^{-8} .

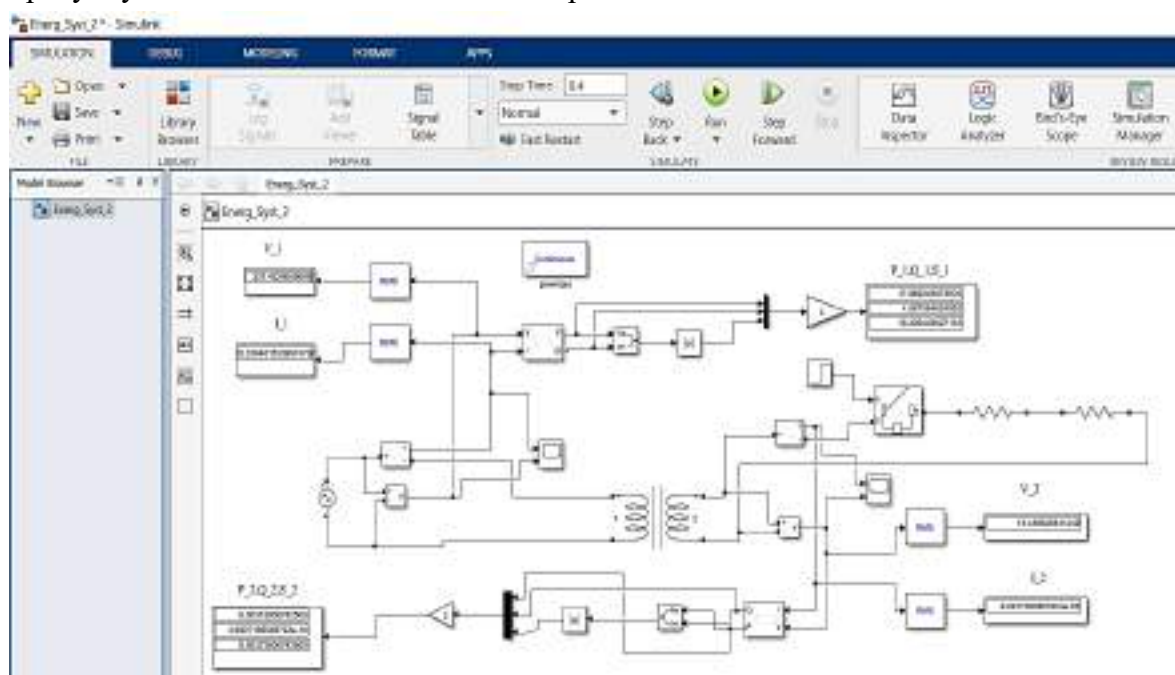


Рис. 4. Матмоделі ДПП залізорудної шахти в середовищі Matlab Simulink 2021b близько до режиму короткого замикання та споживання ЕЕ за аварійних умов її функціонування

Це необхідно для моделювання для виконання даної моделі, що є близькою до режиму короткого замикання та споживання ЕЕ нею для аварійних умов її функціонування.

Для подальшого аналізу споживання електроенергії на основі споживаних потужностей (P , Q , S) підземною підстанцією залізорудної шахти проведемо декілька дослідів (які є аналогічними для режиму нормально функціонування ДПП залізорудної шахти) з різними коефіцієнтами завантаження та побудуємо графіки зміни цих параметрів (рис. 5).

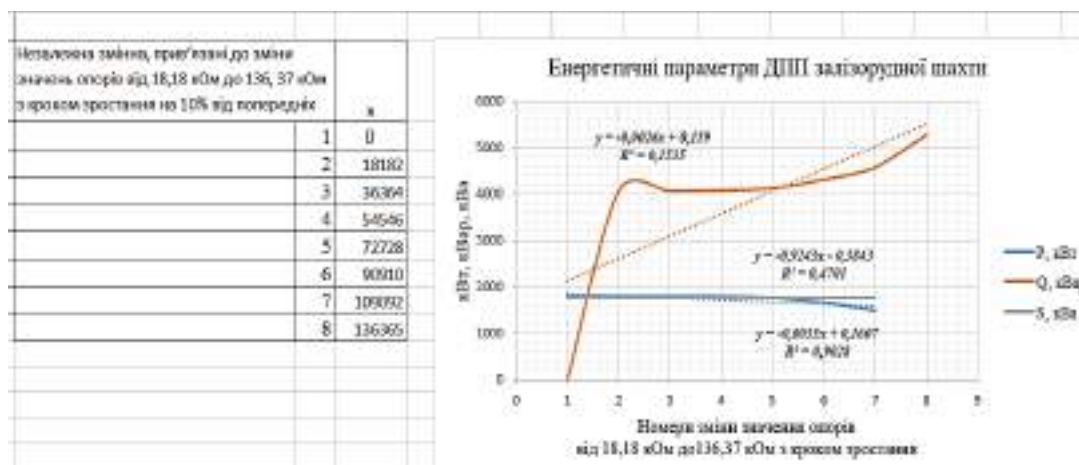


Рис. 5. Динаміка зміни споживаних потужностей ДПП залізорудної шахти для аварійного режиму короткого замикання

Відповідно синім, червоним та салативим кольорами позначено потужності: активна, реактивна та повна.

Рівняння: $y = -0,035x + 0,1607$, $y = -0,026x + 0,159$ та $y = -0,9243x - 0,3843$ є рівняннями регресії для динамічних змін потужностей (активної, реактивної та повної) підземною підстанцією залізорудної шахти, котра працює у режимі близькому до режиму короткого замикання, а значення: $R^2 = 0,9028$, $R^2 = 0,4701$, $R^2 = 0,1535$ – це коефіцієнти кореляції для кожного з типів потужностей.

Для кожного з рівнянь наведених вище параметри та змінні позначаються наступним чином: x – незалежна змінна, y – залежна від величини x змінна та ставиться y відповідність кожній з потужностей: активної (P , кВт), реактивної (Q , кВар) та повної (S , кВа), а для значення x – незалежні змінні (прив'язані до зміни значень опорів від 18,18 кОм до 136,37 кОм з кроком зростання на 10% від попередніх їхніх значень).

Рівняння $y = -0,035x + 0,1607$ та $R^2 = 0,9028$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню активної потужності P , кВт.

Рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню реактивної потужності Q , кВар.

Рівняння $y = -0,026x + 0,159$ та $R^2 = 0,1535$ – це рівняння та коефіцієнт кореляції відповідають значенню повної потужності S , кВа.

Для активної потужності (P , кВт) – оскільки $R^2 > 0,7$ та < 1 , то цей кореляційний зв'язок є сильним, для повної потужності (S , кВа) – є також середнім, тому що $0,3 < R^2 \leq 0,7$, але для реактивної потужності (Q , кВар) – $0 < R^2 \leq 0,3$ – цей зв'язок є слабкої сили.

Слабкої сили зв'язок для рівняння $y = -0,026x + 0,159$ та $R^2 = 0,1535$ – пояснюється значними змінами величини реактивної потужності (Q , кВар) в тому числі й від'ємними від певного її значення дана картина є типовою для режиму короткого замикання однієї або декількох фаз для трифазної системи живлення ДПП залізорудної шахти.

Середньої сили зв'язок для рівняння $y = -0,9243x - 0,3843$ та $R^2 = 0,4701$ – можна пояснити негативним впливом короткого замикання на фазі підземної підстанції залізорудної шахти.

Слід також зауважити, що цей результат отриманий на рис. 5 є типовим для режиму короткого замикання – є свідченням доброї збіжності матмоделі ДПП залізорудної шахти у середовищі Matlab Simulink 2021b [11; 12].

Порівнявши між собою рис. 3 та рис.5 бачимо спади споживання активної та повної потужності дільничної підземної підстанції в 2-4 рази в порівнянні з динамікою споживання даних потужностей у номінальному режимі її функціонування, натомість відбувається різке збільшення віддачі реактивної потужності (становить $1,3 - 3,1 Q_{\text{норрежфунк}}$) ДПП у енергосистему залізорудної шахти, що своєю чергою скоротить термін її експлуатації з 10-20 років до 5-8 років.

Висновки. Виконані в цій статті математичні моделі енергосистеми ДПП залізорудної системи демонструють широкі й гнучкі можливості математичного моделювання процесів у енергосистемі й дозволить знизити час на проектування та витрати на розроблення їх прототипів.

У майбутньому це створить нові можливості для проведення моделювання для виконання аналізу перехідних режимів між статичними та динамічними (аварійними) режимами роботи енергосистеми залізорудної шахти, що в подальшому дозволить знизити витрати на електроенергію споживану дільничною підземною підстанцією шахти.

Це дозволить знизити час та вартість готового електрообладнання на проектування нових навантажень на енергосистему, а також втілити у життя інтелектуальну електричну мережу з керованими автоматизованими пристроями у режимі реального часу.

Список використаних джерел

1. Електрифікація гірничого виробництва : підручник для ВНЗ: у 2 т. – Вид. 2-ге перероб. та допов. / за ред. Л. О. Пучкова і Г. Г. Півняка. – Д. : Національний гірничий університет, 2010. – Т. 1. – 503 с.
2. Моркун В. С. Електропостачання і електроустаткування гірничих підприємств : навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / В. С. Моркун. – Кривий Ріг : Мінерал, 2005. – 269 с.
3. Tang Yi. A complete set of automatic compensation equipment of a capacitive charging current in the application of a medium-voltage power system / Yi Tang // *Electric Power Systems Research*. – Vol. 41. – 1997. – Pp 35-41.
4. Mathworks [Elecronic resource]. – Accessed mode: https://www.mathworks.com/solutions.html?s_tid=gn_sol.
5. Луценко І. М. Обґрунтування доцільності переходу до системи обслуговування силових трансформаторів за поточним технічним станом / І. М. Луценко, В. Б. Калінніков // Матеріали міжнародної конференції «Форум гірників - 2011». – Дніпропетровськ, 2011. – Т. 4. – С. 75–79.
6. Розрахунки електричних мереж систем електропостачання : навч. посіб. / Г. Г. Півняк, Г. А. Кігель, Н. С. Волотковська ; за ред. акад. Г. Г. Півняка. – 3-тє вид., перероб. і доп. – Д. : Національний гірничий університет, 2006. – 216 с.
7. Підвищення точності вибору та ефективності використання силових трансформаторів розподільчих мереж / І. М. Луценко, Є. В. Кошеленко, П. С. Циган // *Вісник КрНУ*. – 2017. – Вип. 5/2017 (106). – С. 14-20.
8. Хоменко, О. В. Математичні задачі енергетики. Моделювання і аналіз усталених режимів роботи електричних систем [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. В. Хоменко. – К. : НТУУ «КПІ», 2016. – 109 с.
9. Жуйков В. І. Особливості компенсації миттєвої реактивної потужності в лінійних ланцюгах у перехідному режимі при вмиканні навантаження / В. І. Жуйков // *Електроніка та зв'язок*. – 2017. – № 22 (4). – С. 30-37.
10. Zhuikov V. J. Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current / V. J. Zhuikov, I. V. Verbytskyi, A. G. Kyselova // *Technical Electrodynamics*. – 2018. – № 4. – Pp. 47-52. – DOI: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.047>.
11. Липовик В. В. Математичний аналіз : навчальний посібник / В. В. Липовик, О. В. Максимов. – Кривий Ріг : 2010. – 197 с.
12. Липовик В. В. Вища математика : Навчальний посібник / В. В. Липовик. – Кривий Ріг, 2010. – 283 с.

References

1. Puchkova, L.O., & Pivniak, H.H. (2010). *Elektryfikatsiia hirnychoho vyrobnytstva [Electrification of mining production]* (Vol. 1, 2nd ed.). Natsionalnyi hirnychi universytet.
2. Morkun, V.S. (2005). *Elektropostachannia i elektroustatkuvannia hirnychikh pidpriemstv [Electricity supply and electrical equipment of mining enterprises: study guide for students of higher educational institutions]*. Mineral.
3. Tang, Yi. (1997). A complete set of automatic compensation equipment of a capacitive charging current in the application of a medium-voltage power system. *Electric Power Systems Research*, 41, 35-41.

4. Mathworks. https://www.mathworks.com/solutions.html?s_tid=gn_sol.
5. Lutsenko, I.M., & Kalinnikov, V.B. (2011). Obgruntuvannia dotsilnosti perekhodu do systemy obsluhovuvannia sylovykh transformatoriv za potochnym tekhnichnym stanom [Justification of the feasibility of the transition to the maintenance system of power transformers according to the current technical condition]. *Materialy mizhnarodnoi konferentsii «Forum hirnykiv - 2011» – Materials of the international conference “Miners' Forum – 2011”*, 4, 75–79.
6. Pivniak, H.H. (Ed.), Kihel, H.A., & Volotkovska, N.S. (2006). *Rozrakhunky elektrychnykh merezh system elektropostachannia [Calculations of electrical networks of power supply systems]*. 3rd ed. Natsionalnyi hirnychiy universytet.
7. Lutsenko, I.M., Koshelenko, Ye.V., Tsyhan P.S. (2017). Pidvyshchennia tochnosti vyboru ta efektyvnosti vykorystannia sylovykh transformatoriv rozpodilchykh merezh [Increasing the accuracy of selection and efficiency of use of power transformers of distribution networks]. *Visnyk KrNU – Bulletin KrNU*, 5/2017(106), 14-20.
8. Khomenko, O.V. (2016). *Matematychni zadachi enerhetyky. Modeliuvannia i analiz ustalenykh rezhymiv roboty elektrychnykh system [Mathematical problems of energy. Modeling and analysis of established operating modes of electrical systems]*. NTUU «KPI».
9. Zhuikov, V.I. (2017). Osoblyvosti kompensatsii myttievoi reaktyvnoi potuzhnosti v liniinykh lantsiuhakh u perekhidnomu rezhymi pry vmykanni navantazhennia [Peculiarities of instantaneous reactive power compensation in linear circuits in transient mode when the load is turned on]. *Elektronika ta zviazok – Electronics and communication*, (22(4)), 30-37.
10. Zhuikov, V.J., Verbytskyi, I.V., & Kyselova, A.G. (2018). Reactive power compensation approach with dynamic mode of load current. *Technical Electrodynamics*, (4), 47-52. doi: <https://doi.org/10.15407/techned2018.04.047>.
11. Lypovyk, V.V., & Maksymov, O.V. (2010). *Matematychnyi analiz [Mathematical analysis]*.
12. Lypovyk, V.V. (2010). *Vyshcha matematyka [Higher mathematics]*.

Отримано 24.08.2022

UDC 621.316.9:621.395.14

Valentyn Vlasiuk

PhD student

Kryvyi Rih National University (Kryvyi Rih, Ukraine)

E-mail: Email_Valentin@ua.fm. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3202-8967>

MODELLING OF THE STATIC AND DYNAMIC EMERGENCY MODES AND ANALYSIS OF THE ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF THE SECTIONAL UNDERGROUND SUBSTATION OF THE IRON ORE MINE

Improve the existing model of power supply of the underground substation in static and dynamic modes of its operation and perform simulation of static and dynamic emergency modes of its operation.

The paper is devoted to determining the possibility of modeling static and dynamic emergency modes of operation for a sectional underground substation operating in an iron ore mine. The model of two winding transformers in Matlab Simulink R2020b environment is proposed and justified. Computer simulation with the software Matlab Simulink R2020b allowed using more possibilities to calculate the power supply system of the sectional underground substation.

The following methods were used to solve the problems: theoretical foundations of electrical engineering, electrical machines, power converter technology, mathematical analysis and computational mathematics.

The use of the results of the work will provide opportunities for analysis of transient modes between static and dynamic (emergency) modes of operation of the power system of the iron ore mine, which in the future will reduce the cost of electricity consumed by the underground mine sub-station, as well as reduce the time and cost of finished electrical equipment to design new on the power system, and implement an intelligent power grid with controlled automated devices in real time.

In the future, this will create new opportunities for conducting simulation to analyze transient modes between static and dynamic (emergency) modes of operation of the power system of the iron ore mine, which will further reduce the cost of electricity consumed by the site underground mine substation. This will reduce the time and cost of finished electrical equipment to design new loads on the power system, as well as to implement an intelligent electrical network with controllable automated devices in real time.

Key words: sectional substation; iron ore mine; power supply; static and dynamic modes; computer modeling.

Fig.: 5. Table: 2. References: 12.

**Юрій Батигін¹, Світлана Шиндерук², Євген Чаплигін³,
Тетяна Гаврилова⁴, Денис Фендриков⁵**

¹доктор технічних наук, професор кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: yu.v.batygin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1278-5621>. ResearcherID: [G-7765-2014](https://orcid.org/0000-0002-1278-5621)

²кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6354-4174>. ResearcherID: [G-8375-2015](https://orcid.org/0000-0002-6354-4174)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: chaplygin.e.a@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1448-6091>. ResearcherID: [G-4398-2015](https://orcid.org/0000-0003-1448-6091)

⁴кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: gavrilova.hnadu@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3677-2219>. ResearcherID: [G-5638-2016](https://orcid.org/0000-0002-3677-2219)

⁵аспірант кафедри фізики

Харківський Національний автомобільно-дорожній університет (Харків, Україна)

E-mail: 097931417e@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9702-6412>. ResearcherID: [G-7718-2021](https://orcid.org/0000-0002-9702-6412)

РЕЗОНАНСНИЙ ПІДСИЛОВАЧ АКТИВНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ. ПРОПОЗИЦІЯ, АНАЛІЗ, ЧИСЛОВІ ОЦІНКИ

Метою цієї роботи є обґрунтування реальної дієвості запропонованої схеми резонансного підсилювача активної електричної потужності, представленої послідовністю з чотирьох індуктивно пов'язаних активно-реактивних контурів. Перший – вхідний із джерелом гармонічного сигналу, що підлягає посиленню. Другий – у режимі резонансу напруг формує посилену реактивну потужність. Третій – з додатковим стороннім джерелом напруги в режимі резонансу струмів здійснює виведення потужності другого контуру без зворотного впливу на процеси посилення. Четвертий контур, індуктивно пов'язаний із третім контуром, містить вихідне навантаження – резистор, що моделює виділення посиленої активної потужності. Проведений аналіз та числові оцінки характеристик протікаючих процесів у запропонованій схемі резонансного підсилювача активної електричної потужності дозволяючи обґрунтувати його принципову дієздатність.

Ключові слова: гармонічний сигнал; реактивна потужність; вихідне навантаження; резистор; активна потужність.

Рис.: 2. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Резонанс, як ключ до енергетичного сплеску в коливальних системах різної фізичної природи, нині вивчений недостатньо. Наприклад, добре відомі та зафіксовані історичні факти механічного руйнування мостових конструкцій, неочевидних у сенсі фізичної причинності резонансних явищ у теплообмінних процесах, електротехнічних ланцюгах та багато іншого. Їх аналіз приводить до постановки фундаментального питання про появу джерела, енергія якого дозволяє виконати роботу, неможливу в межах традиційного розуміння причинно-наслідкового зв'язку фізичних процесів. Висуваються різноманітні гіпотези, сутність яких у своїй більшості зводиться до існування деякої вселенської субстанції (наприклад, це «темна» матерія, фізичний вакуум, ефір та ін.), що має величезний енергетичний потенціал. Залежно та умовами реалізації, останній може виявлятися як теплова, ядерна, нарешті, електромагнітна енергія [1-3]. Відволікаючись від робіт із фундаментальних проблем Світобудови, слід особливо виділити безперечний інтерес світової громадськості до практично доступних технічних розробок, спрямованих на вирішення завдань сучасної електроенергетики [4; 5].

Постановка проблеми. Пошук нових альтернативних підходів до вирішення проблем сучасної електроенергетики, пов'язаних із виснаженням наявних природних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різні варіанти резонансних перетворювачів енергії сонячних батарей розробляються системами електроживлення космічних апаратів [6]. Авторами робіт [7; 8] проведено теоретичні дослідження електромагнітних процесів у трансформаторі Тесла – першому технічно реалізованому пристрою резонан-

сного підсилювача напруги. Отримані результати та чисельні оцінки добре узгоджуються з якісними висновками великого винахідника. Практичним інтересом до резонансного посилення потужності зумовлено появу патенту [9]. Предмет винаходу належить до резонансних систем ударного збудження електроенергетики, але може бути знайти застосування у вторинних джерелах безперебійного живлення, пристроях ехолокації і передавачі електромагнітних коливань для створення надпотужних зондувальних сигналів. Зрештою, робота [10] присвячена експериментальному обґрунтуванню дієвості резонансного підсилювача електричної потужності.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. На думку авторів, основним результатом виконаних досліджень є експериментальний факт отримання реактивної потужності, що в ~ 33 рази перевищує вхідну потужність джерела. Нарешті, з практичного погляду цікавить схемна розробка резонансного підсилювача електричної енергії, на виході якого, на відміну від попереднього аналога, генерується активна потужність для виконання робіт різного призначення.

Метою статті є пропозиція електричної схеми резонансного підсилювача активної електричної потужності, аналіз та числові оцінки протікаючих характеристик електромагнітних процесів для обґрунтування реальної дієвості цієї пропозиції.

Виклад основного матеріалу. Електрична схема, принцип дії.

На рис. 1 запропоновано схему заміщення пропонованого резонансного підсилювача активної електричної потужності, що складається з чотирьох резонансних контурів.

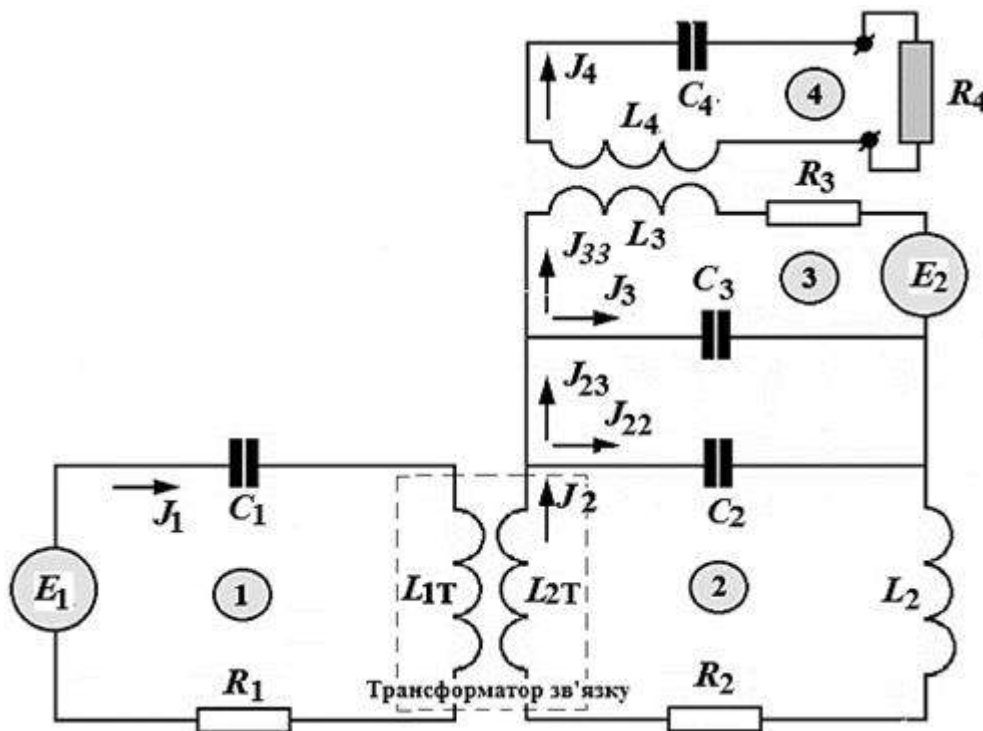


Рис. 1. Схема заміщення активного резонансного підсилювача електричної потужності

Перший з них – 1 із джерелом гармонічної напруги – E_1 є вхідним, струм і напруга якого за допомогою трансформатора зв'язку « $L_{1T} - L_{2T}$ » передається в другий послідовний контур – 2, де посилена реактивна потужність із вихідного елемента ємності – C_2 знімається вже на вхід паралельного резонансного контуру – 3. Останній індуктивно пов'язані з послідовним контуром – 4, вихідний елемент якого моделюється резистором – R_4 , у якому виділяється посилена активна електрична потужність.

Особливість представленої схеми в тому, що паралельний контур – 3 містить стороннє джерело гармонічної напруги – E_2 . Його призначення полягає у створенні умов для режиму резонансу струмів, у якому виключається зворотний вплив на процеси в послідовному контурі, що підсилює – 2.

Відношення активної потужності на виході контуру – 4 (у резистивному навантаженні – R_4) до потужності джерела енергії у вхідному контурі – 1 є кількісний показник перетворення електромагнітної енергії за допомогою схеми резонансного підсилювача активної електричної потужності.

Постановка задачі.

- Вхідний послідовний контур 1 містить ємність – C_1 , індуктивність – L_{1T} (первинна обмотка трансформатора зв'язку між контурами 1 – 2), активний опір – R_1 та джерело гармонічної напруги – $E_1(t) = E_1 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ (E_1 – амплітуда, ω – частота, t – час).

- Посилуючий послідовний контур 2 містить індуктивність – L_{2T} (первинна обмотка трансформатора зв'язку між контурами 1 – 2), ємність – C_2 (вихідний елемент), індуктивність – L_2 та активний опір – R_2 (опір обмоток індуктивностей та з'єднувальних проводів).

- Паралельний контур 3 містить ємність – C_3 , активний опір – R_3 (опір обмоток індуктивностей та з'єднувальних проводів), індуктивність – L_3 та стороннє джерело гармонічної напруги – $E_2(t) = E_2 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ (E_2 – амплітуда).

$$\begin{aligned} R_4 \cdot J_4 + i\omega(k_{34} \cdot \sqrt{L_3 L_4}) \cdot J_{33} &= 0 \\ (i\omega L_3 + R_3) \cdot J_{33} + i\omega(k_{34} \cdot \sqrt{L_3 L_4}) \cdot J_4 - E_2 &= U_{C_3} \\ J_3 &= i\omega C_3 \cdot U_{C_3} \end{aligned} \quad (1)$$

де $k_{34} \in [0, 1]$ – коефіцієнт рівня електромагнітного зв'язку між контурами 3 та 4;

L_4 – індуктивність, Гн;

C_4 – ємність, Ф;

R_4 – активний опір навантаження, Ом;

J_{33}, J_3 – струми у гілках контуру – 3, А;

L_3 – індуктивність, Гн;

R_3 – активний опір, Ом;

E_2 – стороннє джерело гармонічної напруги, В;

C_3 – ємність у гілці J_3 , Ф;

U_{C_3} – напруга на ємності C_3 , В;

Із системи лінійних рівнянь алгебри (1) знаходимо збуджувані струми [9].

$$\begin{aligned} J_4 &= -\frac{i\omega(k_{34} \cdot \sqrt{L_3 L_4})}{R_4} \cdot J_{33}, \\ J_{33} &= \frac{U_{C_3} + E_2}{(i\omega L_3 + R_3 \cdot (1 + k_{34}^2 \cdot Q_3 \cdot Q_4))}, \\ J_3 &= i\omega C_3 \end{aligned} \quad (2)$$

де $Q_3 = \frac{\omega L_3}{R_3} \cdot Q_4 = \frac{\omega L_4}{R_4}$ – добротності контурів 3 та 4 відповідно.

Підсумовуючи струми в гілках паралельного контуру з урахуванням резонансу, знаходимо струм у виводі від ємності – C_2 :

$$J_{23} = J_3 + J_{33} = \frac{\left(E_2 + iU_{C_3} \left(\frac{1}{Q_3} + k_{34}^2 \cdot Q_4 \right) \right)}{R_3 \cdot \left(iQ_3 + (1 + k_{34}^2 \cdot Q_3 \cdot Q_4) \right)} \quad (3)$$

З (3) отримуємо, що для виконання наступної умови:

$$E_2 = -i \cdot U_{C_3} \cdot \left(\frac{1}{Q_3} + k_{34}^2 \cdot Q_4 \right) \quad (4)$$

На практиці необхідну амплітуду напруги стороннього джерела можна визначити, варіюючи її величину до отримання нульового струму у висновках до контуру – 3 від ємності – C_2 у контурі – 2.

За допомогою (2) та (4) визначаємо напругу та струм в активному навантаженні – R_4 :

$$\begin{cases} U_4 = U_{C_3} \cdot \left(k_{34}^2 \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right) \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}}; \\ J_4 = \frac{U_{C_3}}{R_4} \cdot \left(k_{34}^2 \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right) \cdot e^{-i\frac{\pi}{2}}. \end{cases} \quad (5)$$

При виконанні умови (4), що забезпечує режим резонансу в паралельному контурі – 3, струм у виведенні від ємності – C_2 до контуру – 3 дорівнює нулю ($J_{23} = 0$), та електромагнітні процеси в резонансних контурах – 2 та 1 протікають незалежно від процесів у контурах – 3 та 4.

Зазначена обставина дозволяє проаналізувати збудження контурів – 2 та 1 джерелом гармонічної напруги – E_1 поза функціональним зв'язком з контурами – 3 та 4.

Система рівнянь стану має вигляд [11]:

$$\begin{cases} E_1 = \left(i \left(\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) + R_1 \right) \cdot J_1 + i \cdot M_{12} \cdot J_2; \\ -i\omega \cdot M_{12} \cdot J_1 = \left(i \left[\omega \cdot L_{2S} - \frac{1}{\omega C_2} \right] + R_2 \right) \cdot J_2; \end{cases} \quad (6)$$

де $J_{1,2}$ струми в контурах 1 та 2 відповідно;

$M_{12} = k_{12} \cdot \sqrt{L_{1T} L_{2T}}$ – взаєміндуктивність, $k_{12} \in [0, 1]$ коефіцієнт рівня електромагнітного зв'язку між контурами 1 – 2;

$L_{2S} = (L_{2T} + L_2)$ – сумарна індуктивність, контур 2.

У разі виконання умов резонансу:

$\left\{ \left(\omega \cdot L_{2S} - \frac{1}{\omega C_2} \right) = 0, \left(\omega L_{1T} - \frac{1}{\omega C_1} \right) = 0 \right\}$ система рівнянь (6) набуває вигляду:

$$\begin{cases} E_1 = J_1 \cdot R_1 + i\omega M_{12} \cdot J_2; \\ -i\omega M_{12} \cdot J_1 = R_2 \cdot J_2. \end{cases} \quad (7)$$

З (7) отримуємо вирази для збуджуваних струмів.

$$\begin{cases} J_1 = E \cdot \frac{R_2}{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}; \\ J_2 = -i \cdot \frac{E_1}{Z} \end{cases} \quad (8)$$

$$\text{де } Z = \frac{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}{\omega M_{12}}.$$

Зазначимо, що Z має сенс модуля еквівалентного індуктивного опору, що зв'язує напругу джерела потужності – E_1 з резонансним струмом у другому контурі, оскільки, як випливає з виразу для J_2 , тут має місце суворо індуктивний зв'язок.

Відповідний вираз перепишемо у вигляді, зручному для подальшого аналізу.

$$J_2 = -i \cdot \frac{E_1}{Z}, \quad (9)$$

$$\text{де } Z = \frac{(\omega M_{12})^2 + R_1 \cdot R_2}{\omega M_{12}}.$$

Функціональна залежність $Z = Z \cdot (\omega M_{12})$ повинна мати мінімум, що визначає максимум струму J_2 як функції аргументу $-(\omega M_{12})$.

Необхідна умова існування екстремуму для функції – $Z = Z \cdot (\omega M_{12})$ запишеться у вигляді [12]:

$$\frac{dZ(\omega M_{12})}{d(\omega M_{12})} = \frac{(\omega M_{12})^2 - R_1 \cdot R_2}{(\omega M_{12})^2} = 0. \quad (10)$$

З виразу (10) випливає, що модуль еквівалентного опору як функція аргументу – (ωM_{12}) , досягає мінімуму при $(\omega M_{12})_{\min} = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$. А власне мінімум опору – $Z_{\min} = 2\sqrt{R_1 \cdot R_2}$.

У термінах параметрів схеми контурів 2 і 1 умова реалізації мінімальної величини еквівалентного опору має вигляд:

$$\omega \cdot k_{12} \cdot \sqrt{L_{1T} \cdot L_{2T}} = \sqrt{R_1 \cdot R_2}. \quad (11)$$

З виразу (11) випливає оцінка значення коефіцієнта електромагнітного зв'язку – k_{12} , забезпечує максимум вторинного струму – J_2 :

$$k_{12-\max} = \sqrt{\frac{R_1 \cdot R_2}{(\omega \cdot L_{1T}) \cdot (\omega \cdot L_{2T})}}. \quad (12)$$

Фізично, знайдений мінімум еквівалентного опору, що зв'язує вторинний струм з напругою джерела потужності – E_1 і визначальний максимум посилення потужності, можна пояснити мінімально можливою зворотною перекачуванням енергії з вторинного контуру – 2 в первинний – 1. Причому цей стан речей забезпечується рівнем електромагнітного зв'язку між контурами згідно з формулою – (12).

Для обчислення інтегрального коефіцієнта перетворення активної електричної потужності у запропонованій схемі резонансного підсилювача запишемо формули для струму у першому контурі – 1 та напруги у «вихідному» елементі – L_2 контуру – 2.

$$J_1 = \frac{E}{2R_1};$$

$$UC_2 = -E_1 \cdot \frac{1}{2\omega C_2 \cdot \sqrt{R_1 \cdot R_2}} = \left\| \frac{1}{\omega C_2} = \omega L_{2s} \right\| = -E_1 \cdot \frac{\omega L_{2s}}{2\sqrt{R_1 \cdot R_2}}. \quad (13)$$

Враховуючи, що U_{C_3} , після підстановки вираз для U_{C_2} у (5) знаходимо напругу і струм в активному опорі навантаження – R_4 .

$$\begin{cases} U_4 = -E_1 \cdot \frac{\omega L_{2s}}{2\sqrt{R_1 \cdot R_2}} \cdot \left(k_{34} \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right); \\ J_4 = -E_1 \cdot \frac{\omega L_{2s}}{2R_4 \sqrt{R_1 \cdot R_2}} \cdot \left(k_{34} \cdot \sqrt{\frac{L_4}{L_3}} \right). \end{cases} \quad (14)$$

Відповідно до (13) і (14) амплітуди потужності в контурі – 1, у контурі – 2 та на «виході» резонансного підсилювача активної електричної потужності в контурі – 4 будуть визначатися наступними залежностями.

$$\begin{cases} P_{1m} = \frac{E_1^2}{2R_1}; \\ P_{2m} = \frac{E_1^2}{R_1} \cdot \frac{Q_2}{4}; \\ P_{4m} = E_1^2 \cdot \frac{R_2}{4R_4 \cdot R_1} \cdot Q_2^2 \cdot \left(k_{34}^2 \cdot \frac{L_4}{L_3} \right), \end{cases} \quad (15)$$

де $Q_2 = \frac{\omega L_{2s}}{R_2}$ – добротність контуру – 2.

Коефіцієнти перетворення електричної потужності в контурах запропонованої схеми резонансного підсилювача знаходяться як відношення відповідних величин з виразів (15):

$$\begin{cases} \text{а) з контура 1 в контур 2,} \\ K_{1-2} = \frac{P_{2m}}{P_{1m}} = \frac{Q_2}{2}; \\ \text{б) з контура 2 в контур 4,} \\ K_{2-4} = \frac{P_{4m}}{P_{2m}} = \left(\frac{L_{2s}}{L_3} \right) \cdot k_{34}^2 \cdot Q_4; \\ \text{б) з контура 1 в контур 4,} \\ K_{1-4} = \frac{P_{4m}}{P_{1m}} = \frac{Q_2}{2} \cdot \left(\frac{L_{2s}}{L_3} \right) \cdot k_{34}^2 \cdot Q_4. \end{cases} \quad (16)$$

Аналіз, числові оцінки. З фізичних міркувань, очевидно, що з точки зору максимуму ефективності перетворювача в цілому, внесок стороннього джерела гармонічної напруги у реалізацію резонансу струмів у паралельному контурі повинен бути мінімальним. Як впливає з залежностей (4) і (16) для цього необхідна досить висока доброт-

ність – $Q_3 \gg 1$ досить слабкий електромагнітний зв'язок із послідовним контуром у поєднанні з його малою добротністю – $k_{34}^2 \cdot Q_4 \ll 1$. Водночас залежність коефіцієнта посилення потужності – K_{1-4} з (16) вимагає збільшення параметра – $K_{34}^2 \cdot Q_4$.

Отже, очевидно, що в оцінці ефективності запропонованого пристрою мінімум напруги стороннього джерела – E_2 залежність (4) та коефіцієнт посилення K_{1-4} формула (16) є основними параметрами. Слід наголосити, коефіцієнт перетворення залежить не тільки від параметра – $K_{34}^2 \cdot Q_4$, але й від добротності вторинного контуру підсилювача – Q_2 , а також відношення – $\left(\frac{L_{2s}}{L_3}\right)$. Наявність останніх двох залежностей дозволяє регулювати величину коефіцієнта посилення у досить широких межах, незважаючи на можливе зменшення величини – $K_{34}^2 \cdot Q_4$. У цьому вибір даного параметра, в першу чергу, повинен орієнтуватися на залежність (4) і потім (16).

На закінчення проведеного аналізу відзначимо, що у експериментальній моделі перетворювача необхідну амплітуду напруги стороннього джерела можна визначити, варіюючи її величину до отримання нульового струму у висновках джерела реактивної потужності.

Числові оцінки ефективності запропонованого підсилювача резонансної активної потужності були виконані для розробленої експериментальної моделі з фіксованими параметрами, які було обрано за досвідом виконаних попередніх досліджень [10]: $\omega = 2\pi \cdot 25000$ Гц, $L_{1T} = L_{2T} = L_3 = 14,8$ мкГн, $L_2 = 169$ мкГн, $R_2 = 0,35$ Ом, $R_1 = R_3 = 0,1$ Ом, $k_{34} = 0,1$.

Результати обчислень наведено на рис. 2.

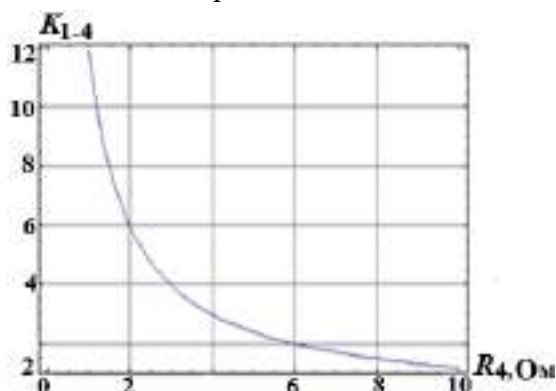


Рис. 2. Ефективність посилення активної потужності від опору навантаження без урахування введеної потужності стороннього джерела

Основним коментарем залежності на рис. 2 є висновок про те, що ефективна робота запропонованого підсилювача активної потужності з відносно високим коефіцієнтом перетворення електричної енергії можлива для активних низькоомних навантажень. Так, зі значення – $R_4 < 6$ Ом величина – $K_{1-4} > 2$.

Висновки. Запропоновано схему резонансного підсилювача активної електричної потужності, представлена послідовністю індуктивно пов'язаних активно-реактивних контурів.

Відмінною особливістю цієї пропозиції є запровадження додаткового стороннього джерела гармонічної напруги, що дозволяє виключити зворотний вплив вихідних струмів та напруг на процеси їхнього резонансного посилення.

На підставі чисельних оцінок та аналізу характеристик протікаючих електромагнітних процесів, сформульовані висновки про реальну дієвість запропонованого підсилювача.

Список використаних джерел

1. Лоренц Г. А. Теорії та моделі ефіру : пер. з англ. / Г. А. Лоренц ; за ред. А. К. Тимірязєва. – Л. : ОНТІ, 1936. – 68 с.

2. Еткін В. А. До вирішення проблеми термодинамічних нерівностей / В. А. Еткін // Вісті Сиб. від. АН СРСР. Сер. техн. наук. – 1988. – Вип. 4. – № 15. – С. 34–39.
3. Тесла Н. Лекції та статті / Н. Тесла. – М. : Изд. Tesla Print, 2003. – 386 с.
4. Батигін, Ю. В. Фізико-технічні аспекти отримання енергії з навколишнього простору за допомогою трансформатора Тесла / Ю. В. Батигін // Теоретичні та прикладні проблеми взаємодії науки та техніки : збірник матеріали II Всеукраїнського науково-практичного семінару, присвяченого 85-річчю Харківського національного автомобільно-дорожнього університету, 11–12 листопада 2015 р., м. Харків. – Х. : Лідер, 2016. – С. 156–162.
5. Павлов Г. В. Резонансні перетворювачі в енергоефективних електротехнічних системах / Г. В. Павлов, А. В. Обрубов // Енергозбереження, енергетика, енергоаудит. Спец. Випуск. Т. 1. – 2014. – № 9. – С. 13–23.
6. Резонансні перетворювачі енергії сонячної батареї / А. В. Осипов, Ю. А. Шиняков, М. М. Чорна, А. А. Ткаченко // Решетнівські читання. – 2015. – Т. 1. – № 19. – С. 290-292.
7. Резонанс у вторинному контурі трансформатора Тесла при збудженні гармонічною напругою / Ю. В. Батигін, Є. О. Чаплігін., С. О. Шиндерук., О. С. Сабокар // Вісник НТУ "ХПІ". Математичне моделювання у техніці та технологіях. – 2017 – № 30. – С. 25–31.
8. Batygin Yu. V. The quantitative indices of induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer / Yu. V. Batygin, S. A. Shinderuk, G. S. Serikov // Danish Scientific Journal. – 2018. – No. 11. – Pp. 72–79.
9. Пат. 103215 України, В21 Д 26/14. Резонансний підсилювач потужності / Лиховид Ю. М.; заявник та патентовласник Лиховид Ю. М. – № у 2015 04915 ; заявл. 20.05.2015 ; опубл. 10.12.2015, Бюл. № 23.
10. Батигін Ю. В. Резонансний підсилювач електричної потужності. Експериментальні дослідження / Ю. В. Батигін, Г. С. Серіков, С. О. Шиндерук // Перспективні технології та прилади : зб. наукових праць. – 2018. – № 13. – С. 18–24.
11. Атабеков Г. І. Основи теорії ланцюгів / Г. І. Атабеков. – Л. : Енергія, 2006. – 220 с.
12. Корн Г. Довідник з математики / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1973. – 831 с.

References

1. Lorents, H.A., & Tymiriaziev, A.K. (Ed.). (1936). *Teorii ta modeli efiru [Theories and models of ether]*. ONTI.
2. Etkin V.A. (1988). Do vyrishennia problemy termodynamichnykh nerivnostei [To solve the problem of thermodynamic inequalities]. *Visti Syb. vid. AN SRSR. Ser. tekhn. nauk – Vesti Sib. from. Academy of Sciences of the USSR. Ser. technical Science*, 4(15), 34-39.
3. Tesla, N. (2003). *Lektsii ta statii [Lectures and articles]*. Tesla Print.
4. Batyhin, Yu.V. (2016). Fyzyko-tekhnichni aspekty otrymannia enerhii z navkolyshnoho prostoru za dopomohoiu transformatora Tesla [Physical and technical aspects of obtaining energy from the surrounding space using a Tesla transformer]. *Teoretychni ta prykladni problemy vzaemodii nauky ta tekhniki: zbirnyk materialiv II Vseukrainskoho naukovo-praktychnoho seminaru, prysviachenoho 85-richchiu Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu – Theoretical and applied problems of the interaction of science and technology: collection of materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Seminar, dedicated to the 85th anniversary of Kharkiv National Automobile and Highway University* (pp. 156-162). Lider.
5. Pavlov, H.V., & Obrubov, A.V. (2014). Rezonansni peretvoriuvachi v enerhoefektyvnykh elektrotekhnichnykh systemakh [Resonant converters in energy-efficient electrotechnical systems]. *Enerhozberezhennia, enerhetyka, enerhoaudyt. Spets. Vypusk – Energy conservation, energy, energy audit. Spec. Output*, 1(9), 13-23.
6. Osypov, A.V., Shyniakov, Yu.A., Chorna, M.M., & Tkachenko, A.A. (2015). Rezonansni peretvoriuvachi enerhii soniachnoi batarei [Resonant solar battery energy converters]. *Reshetnivski chytannia – Reshetnev readings*, 1(19), 290-292.
7. Batyhin, Yu.V., Chaplihin, Ye.A., Shynderuk, S.A., & Sabokar, O.S. (2017). Rezonans u vtorynnomu konturi transformatora Tesla pry zbudzhenni harmonichnoiu napruhoiu [Resonance in the secondary circuit of the Tesla transformer when excited by a harmonic voltage]. *Visnyk NTU “KhPI”. Matematychni modeliuvannia u tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Bulletin of NTU “KhPI”. Mathematical modeling in engineering and technology*, (30(1252)), 25-31.

8. Batygin, Yu.V., Shinderuk, S.A., & Serikov, G.S. (2018). The quantitative indices of induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer [The quantitative indices of induction effects and the resonance phenomena in the Tesla transformer]. *Danish Scientific Journal*, (11), 72-79.

9. Lykhovid, Yu.M. (2015). *Rezonansnyi pidsyliuvach potuzhnosti* (Patent Ukrainy na korynsnu model № 103215).

10. Bathyin, Yu.V., Sierikov, H.S., & Shynderuk, S.A. (2018). Rezonansnyi pidsyliuvach elektrychnoi potuzhnosti. Eksperymentalni doslidzhennia [Resonant amplifier of electric power. Experimental studies]. *Perspektyvni tekhnologii ta prylady – Promising technologies and devices*, (13), 18-24.

11. Atabekov, H.I. (2006). *Osnovy teorii lantsiuhiv* [Basics of chain theory]. Enerhiia.

12. Korn, H., Korn, T. (1973). *Dovidnyk z matematyky* [Handbook of mathematics]. Nauka.

Отримано 02.10.2022

UDC 621.318

**Yuriy Batygin¹, Svitlana Shinderuk², Evgen Chaplygin³,
Tetyana Gavrilo⁴, Denis Fendrykov⁵**

¹Doctor of Technical Sciences, professor of the physics department
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: yu.v.batygin@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1278-5621>. ResearcherID: [G-7765-2014](https://orcid.org/0000-0002-1278-5621)

²PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Physics Department
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: s.shinderuk.2016102@ukr.net. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6354-4174>. ResearcherID: [G-8375-2015](https://orcid.org/0000-0002-6354-4174)

³ PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Physics department
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: chaplygin.e.a@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1448-6091>. ResearcherID: [G-4398-2015](https://orcid.org/0000-0003-1448-6091)

⁴ PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Physics Department
Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: gavrilo.hnadu@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3677-2219>. ResearcherID: [G-5638-2016](https://orcid.org/0000-0002-3677-2219)

⁵ PhD student of the Physics Department

Kharkiv National Automobile and Road University (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: 097931417e@gmail.com. ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9702-6412>. ResearcherID: [G-7718-2021](https://orcid.org/0000-0002-9702-6412)

RESONANT AMPLIFIER OF ACTIVE ELECTRICAL POWER. SUGGESTION, ANALYSIS, NUMERICAL ASSESSMENTS

The purpose of this work is to substantiate the real effectiveness of the proposed active electric power resonant amplifier circuit, represented by a sequence of four inductively coupled active-reactive circuits. The first of them is the input with a source of a harmonic signal to be amplified. The second one generates amplified reactive power in the voltage resonance mode. The third one carries out the output of power from the second circuit without the reverse influence of the amplification processes with an additional third-party voltage source in the current resonance mode. The fourth circuit inductively connected to the third circuit contains an output load - a resistor that simulates the release of amplified active power. The analysis and numerical assessments of the characteristics of the processes in the proposed scheme of the resonant amplifier of active electric power made it possible to substantiate its fundamental capability. Quantitative estimates for the experimental model made it possible to give recommendations on the choice of the parameters of the circuit elements of the resonant amplifier, which has sufficiently high efficiency indicators for low-resistance output active loads.

The results obtained are based on the conclusions of a generalized theoretical analysis of electromagnetic processes and numerical estimates for its experimental implementation. The proposed scheme for the resonant amplification of active electric power, the rationale for its fundamental effectiveness, the theory and numerical assessments of the characteristics of the ongoing processes are of practical interest for further experimental studies, as well as for formulating recommendations for the manufacture of operating samples of this proposal are very promising directions. The results of the conducted research are seen as a theoretical search for the conditions for the highest efficiency and an experimental study of electromagnetic processes in the proposed circuit of a resonant amplifier of active electric power.

Keywords: harmonic signal; reactive power; output load; resistor; active power; scheme elements; low resistance loads; output loads.

Fig.: 2. References: 12.

РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-3(29)-169-177
UDC 528.946

Andrii Sohor¹, Andrii Brydun², Anton Buha³

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Department of Cartography and Geospatial Modelling Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: andrii.r.sohor@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0084-9552>.

ResearcherID: [ABI-6288-2020](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552). Scopus Author ID: [57224950613](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552)

²PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Department of Cartography and Geospatial Modelling Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: andrii.m.brydun@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5634-0512>

ResearcherID: [AAC-1271-2020](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512). Scopus Author ID: [57212560353](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512)

³Master of the Institute of Geodesy Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

WEB CARTOGRAPHY OF SOIL QUALITY IN LVIV REGION

A web map of soil pollution in Lviv region was developed. To create the web map of soil quality in Lviv region, we used a very convenient and popular platform "ArcGIS Online". For our case, Excel tables were developed: soil samples from the places of pollution by industrial enterprises and landfills provided by the Department of Instrumental and Laboratory Control of the State Ecological Inspectorate in Lviv region; content analyses of labile forms of salts of heavy metals in soil samples; observations on the quality of agricultural soils in Lviv region.

Keywords: web mapping; geospatial data; threshold limit value; ecological mapping; soil pollution; interactive web map; "ArcGIS Online".

Fig.: 5. Table: 5. References: 13.

Urgency of the research. It is known that the basis of agricultural production and forestry is soil. Field and fodder crops, forest crops, gardens and berry orchards are grown on soil. In recent years, people stopped caring about soil, farmers and industrialists abandoned systematic crop rotations that improved the physical properties of soil and distorted it by abusing nitrates and pesticides. As of today, about 6.5 million hectares of Ukrainian soil are already unsuitable for agricultural work.

Target setting. We want to carry out analytical control of soils within sanitary and protective zones and in places of waste accumulation of enterprises of Lviv region and find out polluters of land resources. With this purpose, geospatial statistical data relating to the ecological state of the soils of Lviv region was collected and systematized. This allows us to make a choice of software for the development of a soil pollution web map, select the application template for the development of the web map based on the indicators of 428 soil samples in the places of their pollution by industrial enterprises and landfills and develop the web map of soil pollution of Lviv region in the "ArcGIS Online" software environment.

Actual scientific researches and issues analysis. The analysis of modern scientific publications showed that the problem of environmental pollution requires significant attention and detailed study, since a negative change in nature affects the environment and the conditions of existence of all mankind. We can visually display the ecological quality of the environment and draw certain conclusions through interactive or web mapping. Such scientists N.P. Yarema, O.V. Serant, M.S. Heba and A.R. Sohor were engaged in creating ecological maps of Lviv region based on atmospheric air monitoring data [8]. Such scientists as N.P. Yarema, A.M. Brydun, I.P. Lekh and A.R. Sohor were engaged in the problem of web mapping of environmental atmospheric air pollution in Lviv region [7]. The topic of interactive mapping of ecological pollution of surface waters of Lviv region was studied by such researchers as Yu.I. Holubinka, V.V. Shapoval, M.A. Sohor and A.R. Sohor [9]. Issues of web mapping of landfills in Lviv region were studied by N.P. Yarema, O.V. Serant, O.D. Kubrak, T.M. Terech [13]. The problem of mapping pollution of the natural environment with solid household waste was studied by such

scientists as N.P. Yarem, T.B. Marko and V.A. Lozynskyi on the example of Lviv region [11, 12]. The creation of an interactive map of landfills in Lviv region was carried out by such researchers as N.P. Yarema, Yu.M. Polyukhovich, O.D. Kubrak, O.V. Serant [10].

Uninvestigated parts of general matters defining. Currently, the soil quality in Ukraine and, in particular, in the Lviv region is at unsatisfactory level. The main problems in this area are the progressive nature of the negative impact on the ecological state of the environment and human health.

Unfortunately, at the moment, there is no interactive cartographic material that can visualize the problem of ecological soil pollution in Lviv region.

The research objective is to create the web map of soil quality in Lviv region. To achieve this goal, the following tasks were set and solved:

- Collection of geospatial statistical data related to the ecological condition of the soils of Lviv region.

- Choice of proper software for the development of a web map of soil pollution.
- Selection of an application template on the ArcGIS Online platform.
- Creation of the web map of soil pollution in the Lviv region.

The statement of basic materials. Disturbance (destruction) of soils is a complex set of anthropogenic and natural processes of change in physicochemical and mechanical characteristics of soil. As a rule, the first reason for soil disturbance are human-initiated processes (such as mechanical tillage, transformation of soil layers in construction, soil compaction due to transport, livestock grazing, irrigation or other changes in groundwater and surface water, soil pollution, etc.). The results of these primary changes can be multiplied by natural factors, such as wind, rainfall, etc. That is, the soil is a very complex and vulnerable system that has developed over the centuries, but by improper human activities can be destroyed in years, months and even days [1; 2].

Erosion has the greatest destructive effect on soils. Soil erosion is the process of capturing soil particles and carrying them away by water or wind, as well as the process of destroying the upper, most fertile layers of soil.

Under the influence of human activity, there is an accelerated (excessive) erosion, which often causes the complete destruction of soils. At the same time, the losses of soil components are not compensated and there is a sharp decrease in its fertility. Soil destruction happens in hundreds and even thousands of times faster than destruction under natural erosion processes. In natural conditions, soil fertility is constantly renewed because the nutrients taken by plants re-enter the soil with precipitation, mineralize and enrich it again. In agriculture, only a small part of the biomass is returned to the soil, the other is collected with the harvest. Monocultures deplete the soil especially strongly. Erosion is also facilitated by deforestation, which deprives the soil of a protective layer [2, 3].

In addition to erosion, the most significant reasons for the deterioration of land resources in Ukraine are:

1. secondary salinization of soils;
2. flooding and drying of lands;
3. anthropogenic and man-made soil pollution.

The reaction of soil solution is an important indicator of soil fertility, which significantly affects the growth and evolution of plants and the activity of microbiological chemical and biochemical processes. The reaction of the soil to a large extent depends on the assimilation by plants of soil nutrients and fertilizers, mineralization of organic matter, the efficiency of applied fertilizers, crop yield and its quality. In general, active and potential acidities are distinguished. Potential acidity is divided into metabolic and hydrolytic. Hydrolytic acidity characterizes the total acidity of the soil, as it includes all potential and active acidity. Metabolic acidity is expressed by the pH value of the salt extract. The pH value of the salt extract determines the degree of acidity of the soil. According to the degree of acidity, soils are divided into few groups [2; 4; 5]:

- ultra acidic (pH < 4,0),
- extremely acidic (pH 4,1 – 4,5),
- very strongly acidic (pH 4,6 – 5,0),
- strongly acidic (pH 5,1 – 5,5),
- moderately acidic (pH 5,6 – 6,0),
- neutral (pH 6,1 – 7,0),
- slightly alkaline (pH 7,1 – 7,5).

The soil is most often contaminated with compounds of metals and organic matters, oils, tar, pesticides, explosives and toxic substances, radioactive, biologically active combustible materials, asbestos and other harmful products. The source of these compounds is most often industrial or household waste buried in certain places, or in unauthorized landfills. Contamination of soil with heavy metals such as mercury, cadmium, lead, chromium, copper, and zinc is quite dangerous. Heavy metals are present in the soil as natural impurities. The reasons for increasing impurities concentrations are related to

- industry (non-ferrous and ferrous metallurgy, energy, chemical industry);
- agriculture (irrigation with contaminated water, use of herbicides);
- burning fossil fuels and waste;
- motor transport.

Heavy metals are toxic and interfere with the activity of soil microflora. Their concentration in the soil can persist for decades or even centuries. Content of heavy metals, radionuclides, nitrates and pesticides in soils is shown in table 1.

Table 1 – Content of heavy metals, radionuclides, nitrates and pesticides in soils in 2020

Type of pollutant	Number of samples	Maximum permissible concentration, mg/kg	Min soil concentration, mg/kg	Max soil concentration, mg/kg
Cd	1831	0.7	0.1	0.35
Pb	1831	6.0	0.8	2.24
Cu	1479	3.0	0.8	2.20
Zn	1479	23	0.42	1.83
Co	1479	5.0	0.8	2.24
Mn	1479		7.0	33.8

The Lviv branch of the State Institution “State Soil Protection” monitors the quality of agricultural soils in Lviv region. In 2020, the Lviv branch of the “State Soil Protection” Institution carried out agrochemical certification of agricultural lands on farms in nine administrative districts. The area of surveyed lands is 36,589 hectares. The degree of acidity is dominated by soils with a neutral reaction of the soil solution (pH 6.1–7.0), the area of which is 17,909 ha or 48.9% of the surveyed lands. The area of acid soils (pH <5.5) is 10,400 ha, which is 28.4% of the surveyed lands. The weighted average soil acidity is 6.3 units. The content of humus (organic matter) varies from very low (<1.1%) to very high (> 5.0%). Soils with an average (2.1–3.0%) content of humus predominate; the area of these soils is 11,950 ha or 32.7%. According to the content of easily hydrolysed nitrogen compounds, the largest area (23956 ha or 65.5%) is occupied by soils with a low degree of supply. The content of labile phosphorus compounds is dominated by soils with increased (10407 ha or 28.4%) and high (9722 ha or 26.6%), labile potassium compounds – medium (10373 ha or 28.4%) and increased (9114 ha or 24.9%) degree of support [4].

Humus is the most important component of the soil and a determining indicator of its fertility. Humus has the greatest effect on the acceleration of the circulation of substances in the soil–plant system, and when its reserves increase, the energy level of processes taking place both in the soil and in the plant increases too. Humus activates biochemical and physiological processes, enhances metabolism and the overall energy level of processes in the plant body, and promotes the increased intake of nutrients, which is ultimately accompanied by an increase in

harvest, and improvement of quality. The humus state of soils is a matrix that determines all their properties, including all soil regimes. That is why the humus content in the soil is an integral indicator of the level of its potential and effective fertility. Improving the humus condition of soils is the main direction of their fertility and increasing the ecological stability of agricultural landscapes. The agrochemical characteristics of the surveyed lands in terms of humus content are given in table 2.

Table 2 – Characteristics of soils by humus content

Soil area, %						Weighted average index, %
very low < 1.1	low 1.1–2.0	average 2.1–3.0	increased 3.1–4.0	high 4.1–5.0	very high > 5.0	
1.7	25.5	32.7	27.7	7.7	4.8	2.8

The nitrogen fund of the soil consists of organic and mineral compounds of nitrogen contained in the soil and is determined by the genetic properties of soils, depending on the rate of mineralization of organic matter. The main part of the nitrogen is contained in the soil in the form of complex organic matters. The portion of these organic matters is 93-97% of the total nitrogen-containing matters, and only 3-7% are mineral nitrogen compounds. Nitrogen-containing organic compounds are represented by humus, amino acids, their condensation products and other organic matters. Soils, richer in organic matter, have a higher nitrogen content. The nitrogen of organic compounds becomes available to plants only after mineralization. Nitrogen-organic compounds (amides, amino acids, etc.), which decompose quickly and turn into minerals, are considered to be easily hydrolysed.

Plants absorb nitrogen from labile mineral compounds, namely ammonium salts and nitric acid. The amount of labile mineral nitrogen compounds in the soil is very small (about 1% of total nitrogen). A sufficient supply of plants with nitrogen depends on the mineralization of nitrogen-containing organic matter. Along with the process of mineralization of organic nitrogen compounds in the soil, nitrogen is used by microorganisms to build their body (immobilization). After the death of microorganisms, this nitrogen is again partially mineralized and partially fixed in the humus. To establish the supply of plants with nitrogen, determine the content of easily hydrolysed nitrogen in the soil and the nitrifying capacity of the soil. The agrochemical characteristics of the surveyed lands in terms of easily hydrolysed nitrogen content are given in table 3.

Table 3 – Characteristics of soils in terms of nitrogen content, which is easily hydrolysed

Soil area, %				Weighted average index, mg/kg
very low < 100	low 101.0–150.0	average 151.0–200.0	increased > 200	
16,5	65.5	13.5	4.5	121.9

The phosphorus content in the soil is one of the main signs of its fertility and cultivation. It should be noted that up to 55% of phosphorus in the soil is represented by organic compounds, and the composition of mineral phosphates available to plant forms do not exceed 1-3%. Phosphorus of organic compounds is available to plants after their hydrolytic decomposition by phosphatases and soil microorganisms. Much of the soil phosphorus is in hard-to-reach forms, which become available due to the action of root secretions and micro-organisms. The mineral compounds of phosphorus, in particular, labile phosphates, determine the conditions of plant nutrition with phosphorus. Agrochemical characteristics of the surveyed lands on the content of labile phosphorus compounds are given in table 4.

Table 4 – Characteristics of soils by the content of labile phosphorus compounds

Soil area, %						Weighted average index, mg/kg
very low < 20	low 21-50	average 51–100	increased 101–150	high 151-200	very high > 200	
0.7	3.7	26.3	28.4	26.6	14.3	136.9

The content of exchangeable potassium in the soils of the region is different and depends on the mechanical components of the soil, fertilizer application, climatic conditions and method of its use. The agrochemical characteristics of the surveyed lands in terms of the content of labile potassium compounds are given in Table 5. The increase in the content of exchangeable potassium in the arable soils of the region is explained by a sharp change in climatic conditions. In conditions, when long humid and cool weather is sharply changed with long and arid weather with high temperature that became characteristic of the territory of the area in the last 3 years, there is fast and excessive evaporation of moisture from soil that encourages the return of water-soluble salts by capillaries with soil moisture in upper horizons, where moisture evaporates into the atmosphere and salts remain in the soil. Thus, there is a secondary saturation of the arable layer with water-soluble salts from deep horizons, among which is largely potassium [2].

Table 5 – Characteristics of soils by the content of labile potassium compounds

Soil area, %						Weighted average index, mg/kg
very low ≤ 20	low 21-40	average 41-80	increased 81-120	high 121-180	very high > 180	
3.1	19.4	28.4	24.9	16.9	7.3	79.07

In 2020, the Department of Instrumental and Laboratory Control of the State Ecological Inspectorate in Lviv region performed 428 soil samples at the sites of their contamination (industrial enterprises, landfills, etc.). As a result of the analytical control of soils in places of accumulation of waste, it can be concluded that pollutants of land resources are mainly accumulators of household waste (landfills) and industrial waste [2, 4].

The creation of the web map is performed in several stages:

- Prepare and download the source data.
- Select a base card.
- Download layers with source data.
- Download auxiliary layers.
- Save the map.

To perform the first stage, we determine the location of each soil sampling point, in which we recorded the physical and chemical characteristics of the soil. To do this, we use the environment “Google Maps”, to determine the place where the soil sample was taken. Then we display the coordinates of the point, which we copy and paste into our “Microsoft Office Excel” spreadsheet and save the file in csv format.

To display points on the map, we use the function “Add – Add a layer from the file”. Then a program window will appear showing all the data that was in the “Microsoft Office Excel” file.

For orientation on the map, those columns were selected from the table, which are responsible for each type of data: longitude, latitude and information about the physical-chemical composition of the soil (Fig. 1).

The Department of Ecology and Natural Resources of the Lviv Regional State Administration provides only an approximate location of the points of fixing soil contamination. Moreover, the coordinates of the soil sample will also be not exact but close to the true values.

For better visualization, we used the “Change Style” option. You can use it to select two styles of character display: types (Unique characters) and location (Single character).

In our case, the Unique Symbols style is selected to display districts and Amalgamated Territory Communities (ATCs). This style can change objects: colour, shape, size, visibility range and transparency.

The icons on the map are selected and displayed according to the theme of the map, household and industrial waste are displayed with different icons so that users can navigate to which category the surface contamination belongs.

For better orientation on the map, other layers, districts of Lviv region, and Amalgamated Territory Communities were also added.

For better display, we configure the visibility of regions, districts and territory communities, and adjust the visibility range of these layers.

Longitude	Latitude	Notes	Copper (ppm)	Zinc (ppm)	Lead (ppm)	Chromium (ppm)	Cadmium (ppm)	Cobalt
		to the breakdown of oil is contaminated with oil products						
48.54	23.58	Land plot of disused chernozem, North-East, (the angle of the well)	0.84	2.15	1.92	1.48	0.58	1.57
48.54	23.58	Land plot of the forest (200 m) near the bridge, South-East, (the angle of the well)	1.23	4.8	2.19	1.04	0.17	1.98
48.54	23.58	Background, land approximately 50 m from the well	1.1	2.23	5.02	1.18	0.28	2.18
50.25	24.22	Land on the south-west of the heap on the bypass channel	0.84	1.25	2.18	1.03	0.14	0.53
50.25	24.22	Background, a plot of land 200 m in the field from the heap, near the administration	1.13	2.2	3.06	1.15	0.25	0.81

Fig. 1. Exported data to “ArcGIS Online” software environment

To display the regions, we chose the range “World – District” (Fig. 2), for districts “District – Town” (Fig. 3), and for ATC “City – Room” (Fig. 4).

After compiling the map, we use the “Share” option, which can transfer the map to public access. This function allows to embed the map on a website or create your own web application.



Fig. 2. Visibility of regions in “ArcGIS Online”



Fig. 3. Visibility of districts in “ArcGIS Online”



Fig. 4. Visibility of ATCs in “ArcGIS Online”

Summing up, to create the web map of soil quality in Lviv region, we used a very convenient and popular platform “ArcGIS Online”. In order to start working on this platform, it is necessary to collect and structure data in the environment of “Microsoft Office Excel” [6, 7].

For our case, we developed the following Excel spreadsheets:

- samplings of soils in places of their contamination by industrial enterprises and landfills, provided by the Department of Instrumental and Laboratory Control of the State Ecological Inspectorate in Lviv region;
- content analysis of labile forms of salts of heavy metals in soil samples conducted by the Lviv branch of the State Soil Protection State Institution;
- observations on the quality of agricultural soils in Lviv region, carried out by the Lviv branch of the State Institution “State Soil Protection”.

To visualize the map of Lviv region, the “OpenStreetMap” was used in the “ArcGIS Online” platform with the borders of Lviv region and the districts of the region [7, 8, 9, 10]. In order to map our data, “ArcGIS Online” first created the map with the coordinates of each soil contaminant and soil quality values. To do this, we exported the created “Microsoft Office Excel” spreadsheet to “ArcGIS Online” [11; 12; 13].

Further, we combine the map with the borders of Lviv region and the soil quality map and get our web map (Fig. 5).



Fig. 5. Map of soil quality of Lviv region in the environment “ArcGIS Online”

You can view the created web map using the following link:

<https://nulp.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?web-map=a951c2c9da804f2b9e78a7f8c837e143&extent=22.8696,49.2556,26.2424,50.4018>

Conclusions. Studying the problem of soil quality in Lviv region in terms of environmental pollution, we have:

1. Collected and systematized geospatial statistical data related to the ecological condition of the soils of Lviv region.
2. Chosen software for the development of a web map of soil pollution.
3. Selected a template for applications for the development of the web map on the indicators of 428 soil samplings in places of contamination by industrial enterprises and landfills.
4. Developed the web map of soil pollution in Lviv region in the “ArcGIS Online” environment.

References

1. Hennenberg, K.J., Fritsche, U.R., & Wiegmann, K. (2008). Criteria and Indicators to Identify and Map High Nature Value Areas. *Joint International Workshop on High Nature Value Criteria and Potential for Sustainable Use of Degraded Lands*, June 30-July 1. Paris. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.468.1569&rep=rep1&type=pdf>.
2. Department of Ecology and Natural Resources of the Lviv Regional State Administration / State of the Environment in the Lviv Region (according to the results of monitoring studies). I quarter of 2020. (2020).
3. Pointereau, P., Paracchini, M., Terres, J., Jiguet, F., Le, Bas Y., & Biala, K. (2007). Identification of High Nature Value Farmland in France through Statistical Information and Farm Practices Surveys. EUR 22786 EN. Luxembourg (Luxembourg): OPOCE; JRC37553. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC37553>.
4. Department of Ecology and Natural Resources of the Lviv Regional State Administration / State of the Environment in the Lviv Region (according to the results of monitoring studies). II quarter of 2020. (2020).
5. Prime farmland soil map units. <http://nesoil.com/prime1.html>.
6. Libanova, E.M., Hladun, O.M., & Lisohor, L.S. (2013). *Measuring the quality of life in Ukraine. Analytical report*.
7. Sohor, A.R., Yarema, N.P., Brydun, A.M., & Lekh, I.P. (2019). Creating an interactive map of air pollution in Lviv region. *Young Scientist*, 2(66), 303–306.
8. Sohor, A.R., Yarema, N.P., Heba, M.S., & Serant, O.V. (2018). Creation of ecological maps of Lviv Oblast based on atmospheric air monitoring data. *Young Scientist*, 6(58), 23–27.
9. Sohor, A.R., Holubinka, Yu.I., Shapoval, V.V., & Sohor, M.A. (2020). Interactive map of surface water pollution in Lviv region. *Young scientist*, 2(78), 193–199.
10. Yarema, N.P., Poliukhovych, Yu.M., Kubrak, O.D., & Serant, O.V. (2018). Creating an interactive map of landfills in Lviv region. *New technologies in geodesy, land management, forest management and nature management: materials of the IX International scientific-practical conference* (Uzhgorod, October 4-6, 2018) (pp. 119-123).
11. Yarema, N.P., & Marko, T.B. (2017). Pollution of the natural environment by solid household waste on the example of Lviv region. *Ecogeoforum 2017. Current issues and innovations: materials of the international scientific-practical conference* (Ivano-Frankivsk, March 22-25, 2017) (pp. 369-370).
12. Yarema, N.P., Marko, T.B., & Lozynskyi, V.A. (2016). Mapping of pollution of the natural environment of Lviv region by solid household waste. *GeoTerrace-2016: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference of Young Scientists* (Lviv, December 15-17, 2016) (pp. 166–167).
13. Yarema, N.P., Serant, O.V., Kubrak, O.D., & Terekh, T.M. (2019). Web mapping of landfills in Lviv region. *Young Scientist*, 11(75), 167–171.

Отримано 29.08.2022

УДК 528.946

Андрій Согор¹, Андрій Бريدун², Антон Буга³

¹кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: andrii.r.sohor@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0084-9552>.

ResearcherID: [ABI-6288-2020](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552). **Scopus Author ID:** [57224950613](https://orcid.org/0000-0002-0084-9552)

²кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: andrii.m.brydun@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5634-0512>

ResearcherID: [AAC-1271-2020](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512). **Scopus Author ID:** [57212560353](https://orcid.org/0000-0001-5634-0512)

³студент 2-го магістерського рівня вищої освіти Інституту геодезії
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

ВЕБКАРТОГРАФУВАННЯ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ У ЛЬВІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ

Головною метою цієї роботи є створення вебкарти якості ґрунтів у Львівській області. Створення вебкарти виконується в декілька етапів: підготовка та завантаження вихідних даних; вибір базової карти; завантаження шарів з вихідними даними; завантаження допоміжних шарів; збереження карти. Для виконання першого етапу, ми визначаємо місце розташування кожної точки відбору ґрунту, на якому фіксували фізико-хімічні характеристики ґрунту. Для визначення місця проб ґрунту використовуємо середовище «Google Maps». Після чого відображаємо координати точки в середовищі «Microsoft Office Excel». Для орієнтування на карті, було вибрано стовпці із таблиці, які відповідають за кожний вид даних: довгота, широта та інформація про фізико-хімічний склад ґрунту. Департамент екології та природних ресурсів Львівської обласної державної адміністрації надає лише наближене розташування пунктів фіксації забруднення ґрунту, очевидно й координати проби ґрунту також будуть наближені до істинних значень. Для кращої візуалізації ми скористалися функцією «Змінити стиль». З її допомогою можна обрати два стилі відображення символів: типи (Унікальні символи) та місце розташування (Одиничний символ). У нашому випадку, для відображення районів та об'єднаних територіальних громад (ОТГ) нами було підбрано стиль «Унікальні символи», в яких є можливості змін об'єктів: зміна кольору, форми, розміру, діапазону видимості, редагування прозорості. Значки на карті вибрані та відображені відповідно до тематики карти, побутові відходи та промислові відходи були відображені різними значками, щоб користувачі орієнтувались до якої категорії належить забруднення поверхні. Для кращої орієнтації на карті, було додано також інші шари: райони Львівської області та межі об'єднаних територіальних громад. Після компонування карти було використано функцію «Поділитись», за допомогою якої можна перенести карту у відкритий доступ для користувачів. Ця функція дає можливість вбудувати карту у вебсайт або створити власний вебдодаток. У результаті проведеного аналітичного контролю ґрунтів в межах санітарно-захисних зон та в місцях накопичення відходів підприємств Львівської області слід зазначити, що забруднювачами земельних ресурсів є в основному промислові відходи та накопичувачі побутових відходів (сміттєзвалища, мулові майданчики). Ми зібрали та систематизували геопросторові статистичні дані, що стосуються екологічного стану ґрунтів Львівщини. Здійснено вибір програмного забезпечення для розробки вебкарти забруднення ґрунтів. Підбрано шаблон аплікацій для розробки вебкарти за показниками 428 відборів проб ґрунтів у місцях їх забруднення промисловими підприємствами та сміттєзвалищами. Таким чином, було розроблено вебкарту забруднення ґрунтів Львівщини у програмному середовищі «ArcGIS Online». Враховуючи вище сказане, для створення вебкарти якості ґрунтів у Львівській області ми скористалися досить зручною та популярною платформою «ArcGIS Online». Для нашого випадку було розроблено Excel-таблиці: відборів проб ґрунтів у місцях їх забруднення промисловими підприємствами та сміттєзвалищами, наданих відділом інструментально-лабораторного контролю Державної екологічної інспекції у Львівській області; аналізів на вміст рухомих форм солей важких металів у ґрунтових пробах; спостережень за якістю ґрунтів сільськогосподарського призначення у Львівській області.

Ключові слова: вебкартографування; геопросторові дані; гранично-допустима концентрація (ГДК); екологічне картографування; забруднення ґрунтів; інтерактивна вебкарта; ArcGIS Online.

Рис.: 5. Табл.: 5. Бібл.: 13.

Лев Перович¹, Ігор Перович², Роман Ванчура³, Катерина Смолій⁴

¹доктор технічних наук, професор, в.о. завідувача кафедри управління земельними ресурсами, Чорноморський національний університет імені Петра Могили (Миколаїв, Україна)

E-mail: levperovych@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-7072>

²доктор технічних наук, доцент, професор кафедри економічної експертизи та землевпорядкування, Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна)

E-mail: cadastr@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3265-7088>.

³кандидат технічних наук, доцент кафедри економічної експертизи та землевпорядкування, Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна)

E-mail: r.vanchura@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2782-2405>

ResearcherID: [ADF-0566-2022](https://orcid.org/0000-0002-2782-2405)

⁴кандидат технічних наук, доцент кафедри економічної експертизи та землевпорядкування, Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна)

E-mail: kateryna.smoliy@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-1557>

ResearcherID: [GQJ-8429-2022](https://orcid.org/0000-0001-6731-1557)

УНІВЕРСАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ОЦІНКИ ТЕРИТОРІЙ

Оцінка якості окремих частин земної поверхні (територій) завжди викликає певний науковий і практичний інтерес і є базисом життєдіяльності людей. Дослідження процесів і розробка методик оцінки якості територій завжди залишаються важливою проблемою, особливо коли настає процес функціонального зонування території України. Метою цієї публікації є розробка методичного підходу, здатного уніфікувати процедуру оцінювання територій різного функціонального призначення. Запропонований методичний підхід до оцінки якості територій можуть ефективно використовуватись органами державної влади й місцевого самоврядування при розробці проєктів функціонального зонування територій, а також при встановленні нормативів грошової ціни територій певного функціонального призначення.

Ключові слова: індекс якості; індикатор; територія; функціональне зонування.

Рис.: 1. Бібл.: 15.

Актуальність теми дослідження. Проблеми територіального планування знаходять широке висвітлення в науковій і практичній площині. Зокрема, теоретико-методологічні засади планування земельних ресурсів розроблені в монографії О. С. Дорош [1]. При цьому в багатьох наукових працях розглядаються питання територіального планування на державному [2], а також регіональному та районному рівнях [3]. Реалізації розробок територіального планування закріплена на законодавчому рівні [4]. Вдосконалення Генеральної схеми планування території та структурні зміни у використанні земель досліджувались Ю. М. Палехою [5]. Для забезпечення сталого розвитку об'єднаних територіальних громад у державі розробляють нові нормативні та законодавчі акти, метою яких є ефективне використання в її межах природних, матеріальних, трудових та інших ресурсів. У цьому процесі особливу роль відіграють земельні ресурси як один із базових чинників формування стратегії розвитку громад. У зв'язку з цим Верховною Радою України прийнято закон [6], яким передбачено введення в дію нового виду документації із землеустрою і містобудування, а власне, Комплексного плану просторового розвитку територій (КППР). Цей вид документації введено в дію з липня місяця 2021 року, де паралельно з кадастровим зонуванням передбачено функціональне зонування територій. Концепція інтегрованого просторового розвитку територій передбачає створення функціональних зон, у якій визначають комплекс основних видів цільового використання земель та обмежень щодо їх використання. При цьому межі функціональних зон територій територіальних громад повинні враховувати вимоги до забудови та організації території. Відповідно до наведеного вище закону введені зміни в законодавчі акти щодо державного контролю за використанням і охороною земель [7], про регулювання містобудівної діяльності [8] та про землеустрій [9].

У процесі функціонального зонування території особливо актуальною проблемою постає оцінка якості території, і зокрема, земельних ресурсів для задоволення функціональних вимог. Ще більшої ваги ця проблема набуває в ринкових умовах, коли вартість

земельних ресурсів в однакових функціональних зонах може бути різною. У такому аспекті треба було б визначати якісну оцінку території з усіма її природними, соціальними, еколого-економічними, техногенними та іншими компонентами, які мають домінуючий вплив на її функціональний розвиток [10]. Повною мірою це стосується якісної оцінки земельних ресурсів як одного з базових чинників функціонального планування розвитку територій. Зауважимо, що нормативна грошова оцінка землі не може бути єдиним універсальним механізмом, який забезпечує на цей момент достовірне ринкове значення ціни землі. Оскільки вона базується на рентному доході, який, у свою чергу, є складною багато факторною динамічною функцією, то в цьому випадку, безумовно, слід шукати інші механізми визначення якості земель та територій загалом. Актуальними залишаються питання вираження цінності територій у грошовому еквіваленті.

Постановка проблеми. Метою цього дослідження є розробка єдиного методичного підходу для визначення цінності територій різного функціонального використання з врахуванням категорій земель як одного з базових чинників визначення індексу цінності територій у ринкових умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У світовій практиці використовують три основні методичні підходи до визначення індексу цінності територій. В основу всіх методичних підходів покладено три складові частини: соціально-економічна, природна та екологічна якість, стійкість агроландшафтів. Найбільш простим у використанні є адитивний метод, у якому параметрам індикаторів, формуючим алгоритм індекс цінності, надаються граничні значення, визначені на основі літературних даних, експертних суджень, безпосередніх вимірів. Вираз для визначення значення індексу цінності територій має вигляд

$$I_1 = \sum_{n=1}^k i_n, \quad (1)$$

де i – значення індексів цінності окремих індикаторів або їхніх груп;
 $n = 1, 2, \dots, k$ – порядкові номери індексів.

В іншому методичному підході всі індикатори впливу на індекс цінності поділяють на окремі функціональні групи, які інтегрують у рівняння індексу цінності [11]. Для цього використовують зважену адитивну функцію

$$I_2 = W_1 C_1 + W_2 C_2 + \dots + W_n C_n, \quad (2)$$

де C_n – значення індикатора n або їх груп;
 W_n – вага n -го індикатора (групи).

Зазвичай вагу W_i окремого індикатора (групи) і визначають за формулою:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n B_{ij}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^n B_{ij}}, \quad (3)$$

де n – число визначень окремого індикатора (групи);
 N – число індикаторів (груп);
 B_{ij} – бальна оцінка окремого j -го індикатора, визначена i разів.

Наступний методичний підхід, на відміну від двох попередніх, передбачає використання методів кореляційного аналізу, множинної регресії, математичної статистики тощо. У цьому випадку формула для визначення індексу цінності має зазвичай вигляд [12]

$$I_3 = \sum_{n=1}^k W_n i_n, \quad (4)$$

де W_n – вага окремої групи індикаторів (індикатора);
 i_n – значення індексу цінності окремої групи індикаторів (індикатора);
 n – порядковий номер групи індикаторів (індикатора).

Проведені дослідження показали, що всі три методичні підходи значно корельовані між собою і, таким чином, при виборі методу визначення I слід використовувати методичний підхід, який був би найбільш зручним для виконавця робіт [13]. Заслуговує на увагу модель оцінки ґрунту Європейського Союзу. Структура бази даних цієї моделі охоплює всю територію країн ЄС і гармонізована відповідно до стандартів міжнародної класифікації [14]. База даних сформована таким чином, що кожен параметр ґрунту зберігається в окремому растровому тематичному шарі. Вона включає в себе інформацію про функціональне використання землі, типи ґрунтів, кліматичну характеристику, цифрову модель рельєфу землі. Зауважимо, що залежно від функціонального призначення база вхідних даних може складатися з певного виду індикаторів, які мають переважне значення при визначенні I [15].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Оцінка якості окремих частин земної поверхні (територій) завжди викликає певний науковий і практичний інтерес і є базисом життєдіяльності людей. Дослідження процесів і розробка методик оцінки якості територій завжди залишаються важливою проблемою і, особливо, коли настає процес функціонального зонування території України.

Мета дослідження. Метою цієї публікації є розробка методичного підходу, здатного уніфікувати процедуру оцінювання територій різного функціонального призначення.

Виклад основного матеріалу. При виконанні досліджень будемо керуватись такими основоположними принципами:

- індекс цінності території повинен враховувати комплексну загальну її диференціацію, на якій його визначають;
- індекс цінності є аргументом функціональних характеристик окремих індикаторів або їх груп, які мають домінуюче значення у забезпеченні ефективності використання територій з урахуванням соціально-економічних, природоохоронних та екологічних чинників;
- при визначенні ваг впливу окремих індикаторів на комплексне значення індексу цінності слід використовувати безпосередні виміри, результати спеціальних досліджень, експертні судження, статистичні дані тощо;
- значення індексів цінності повинні знаходитися в межах, визначеними в нормативних документах, а за відсутності останніх, встановленими органами місцевої влади;

У наших дослідженнях використаємо зважену адитивну функцію (2). Відповідно до чинних в Україні нормативних документів основними домінуючими індикаторами, які впливають на функціональне використання території, є: функціонально-планувальні, інженерно-інфраструктурні, інженерно-геологічні, історико-культурні, природно-ландшафтні, санітарно-гігієнічні. Треба зауважити, що кінцеве значення групи індикаторів є добутком окремих індикаторів, які включені в цю групу. При цьому добуток цих індикаторів не повинен перевищувати одиниці і їх вибір повинен бути адекватним цільовому використанню земельної ділянки.

На рис. 1 наведено алгоритм процедури функціонального зонування території.

Для прикладу, наведемо визначення індексу цінності території водного об'єкта. Масмо:

$$I_B = W_1C_1 + W_2C_2 + W_3C_3 + W_4C_4 + W_5C_5 + W_6C_6, \quad (5)$$

де $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ – відповідно числові значення груп функціонально-планувальних, інженерно-інфраструктурних, інженерно-геологічних, історико-культурних, природно-ландшафтних та санітарно-гігієнічних індикаторів;

$W_1, W_2, W_3, W_4, W_5, W_6$ – числові значення ваг відповідно груп індикаторів $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$.



Рис. 1. Алгоритм функціонального зонування території

Групу функціонально- планувальних індикаторів C_1 представимо функцією

$$C_1 = K_{11} \cdot K_{12}, \quad (6)$$

де K_{11} – індикатор, який враховує віддаленість об’єкту від населених пунктів;
 K_{12} – індикатор доступності до зупинок транспортних магістралей.

Група інженерно-інфраструктурних індикаторів

$$C_2 = K_{21} \cdot K_{22} \cdot K_{23} \cdot K_{24}, \quad (7)$$

де K_{21} – забезпеченість енергопостачанням;
 K_{22} – наявність гідротехнічних споруд;
 K_{23} – наявність під’їзних шляхів;
 K_{24} – забезпечення комерційними, рекреаційними та оздоровчими спорудами та комплексами.

Інженерно-геологічні індикатори

$$C_3 = K_{31} \cdot K_{32} \cdot K_{33}, \quad (8)$$

де K_{31} – зволоження території;
 K_{32} – зона небезпечних геологічних процесів (зсуви, карсти, провали тощо);
 K_{33} – глибина водного об’єкта.

Історико-культурні індикатори

$$C_4 = K_{41} \cdot K_{42}, \quad (9)$$

де K_{41} – територія історичного ландшафту;
 K_{42} – територія заповідної зони.

Природно-ландшафтні індикатори

$$C_5 = K_{51} \cdot K_{52} \cdot K_{53}, \quad (10)$$

де K_{51} , K_{52} , K_{53} – коефіцієнти, які враховують місце розташування об'єкта відповідно в межах природних національних парків, заказників, заповідних урочищ, біосферних заповідників тощо; на територіях оздоровчого призначення; рекреаційних територіях.

Санітарно-гігієнічні індикатори

$$C_6 = K_{61} \cdot K_{62} \cdot K_{63} \cdot K_{64} \cdot K_{65} \cdot K_{66}, \quad (11)$$

де K_{61} – забруднення повітря хімічними сполуками;

K_{62} – забруднення електромагнітними полями;

K_{63} – вплив акустичних шумів;

K_{64} – ступінь забруднення поверхневих вод;

K_{65} – ступінь замуленості;

K_{66} – ступінь заростання водного об'єкта рослинністю.

Наведені вище індикатори впливу на індекс цінності водного об'єкта не є вичерпними, оскільки в кожному конкретному випадку можуть виникати свої специфічні умови, які потребуватимуть спеціальних досліджень.

Для індексу цінності території населених пункті структура домінуючих індикаторів може включати:

- рівень інженерного забезпечення та благоустрою території;
- рівень розвитку сфери обслуговування;
- естетика забудови та середовища;
- екологічна якість території;
- престиж для проживання;
- сприятливість інженерно-геологічних умов для будівництва.

Цінність території визначається передусім зручністю його розміщення щодо інших територій населеного пункту. Головними функціями, як відомо, є: прикладанням до місць праці, забезпеченість житловою, культурно-побутовою, рекреаційною та лікувальною інфраструктурою. Власне наявність на території таких об'єктів визначає її зручність проживання.

Оцінка інженерно-інфраструктурного забезпечення території населеного пункту базується на вивченні умов забезпечення території об'єктами інженерної інфраструктури та можливості підключення виробничих, громадських та житлових об'єктів до міських інженерно-інфраструктурних мереж. Оцінювання проводиться за окремими складовими інженерної інфраструктури. До групи інженерно-інфраструктурного забезпечення включають чотири фактори: забезпечення централізованим, водо-газопостачанням, електропостачанням та водовідведенням.

Одним із головних факторів, що визначає цінність окремих територій, є їхній екологічний стан. Оцінювання екологічного стану території населеного пункту здійснюють шляхом визначення концентрації того чи іншого забруднювача в навколишньому середовищі. Основними серед них можна назвати: акустичне, електромагнітне та радіаційне забруднення території, а також забруднення води, повітря та ґрунту. Нині у зв'язку з економічною кризою частка забруднень, що поступає від промпідприємств, значно зменшилась, і основний обсяг забруднення складають викиди від автотранспорту. Із фізичних факторів найбільший вплив на територію має шум, що створюється транспортними засобами на основних автомагістралях і залізничних коліях.

Одним із важливих факторів цінності території є його соціальна-містобудівна привабливість (престижність), яка сприяє задоволенню населення архітектурно-естетичним потребам, соціально-культурному розвитку, умовам проживання, наявністю спортивних закладів, садочків для дітей, шкіл тощо.

Важливим аргументом цінності території є вираження індексу її цінності грошовим еквівалентом. У зв'язку з цим вирішення цієї задачі повинно здійснюватися на рівні органів державної влади або місцевого самоврядування, у віданні яких знаходиться ця територія. Звідси, грошова вартість території C_m буде визначатись виразом

$$C_m = C_n \cdot P \cdot I, \quad (12)$$

де C_n – ціна одного квадратного метра оцінюваної території в гривнях;

P – площа території.

Зауважимо, що ціна квадратного метра території фіксованого значення індексу цінності C_n встановлюється рішенням уповноваженого органу державної чи місцевої влади, територіальної громади. Тобто вказана ціна встановлюється органом, який має право розпоряджатись даною територією відповідно до чинного законодавства.

Висновки. У цій публікації запропоновано принципово новий підхід до оцінки територій в Україні, який ґрунтується на показнику індексу якості територій. Одночасно при встановленні вартості територій у грошовому еквіваленті цим методичним підходом розширюються можливості органів місцевого самоврядування, оскільки вони своїм рішенням встановлюють ціну одиниці площі відповідної території.

Запропонований методичний підхід є універсальним, що дозволяє використовувати його для територій різного функціонального призначення, у тому числі різних категорій земель, що значно спрощує процедуру оцінювання.

Список використаних джерел

1. Дорош О. С. Теоретико-методологічні засади територіального планування землекористування : монографія / О. С. Дорош. – Херсон : Грінь Д.С., 2012. – 434 с.
2. Куйбіда В. С. Територіальне планування в Україні: Європейські засади та національний досвід / В. С. Куйбіда, Ю. М. Білоконь. – К. : Логос, 2009. – 108 с.
3. Сухий П. О. Територіальне планування та районне планування / П. Сухий, С. Білокриницький, М. Атаманюк. – Чернівці : Чернівецький національний університет. 2013. – 340 с.
4. Про Генеральну схему планування території України : Закон України від 7 лютого 2002 р. № 3059–III / Відомості Верховної Ради України. – 2002. – № 30. – Ст. 204.
5. Палеха Ю. М. Генеральна схема планування території України і структурні зміни у використанні земель (за даними щорічного моніторингу Генеральної схеми / Ю. Палеха, А. Олещенко // Землеустрій та кадастр. – 2014. – № 1 – С. 20-25.
6. Про внесення змін до Земельного кодексу України та інших законодавчих актів щодо планування використання земель : Закон України 711-IX від 17.06.2020.
7. Про державний контроль за використанням та охороною земель : Закон України від 19 червня 2003 р. № 963-IV / Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 39. – Ст. 350.
8. Про регулювання містобудівної діяльності : Закон України від 17 лютого 2011 р. № 3038–IV / Відомості Верховної Ради України. – 2011. – № 34. – Ст. 343.
9. Про землеустрій : Закон України від 22 травня 2003 р. № 858–IV / Відомості Верховної Ради України. – 2003. – № 36. – Ст. 282.
10. Перович І. Математичне моделювання земель адміністративно-територіальних одиниць / І. Перович // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. 1(27). – С. 70-72.
11. Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems / J.C. Fernandes, C.A. Gamero, J.G.L. Rodrigues, Miras Avolos J.M. // Soil and Tillage Research. – 2011. – Vol. 112. – Pp. 167–174.
12. Mandual U.K., Ramachandran K., Sharma K., Satyam B., Venkanna K. Assessing Soil Quality in a Semiarid Tropical Watershed Using a Geographic Information System. Soil Science Society of America Journal. – 2011. – Vol. 75. – Pp. 1144–1160.
13. Mukherjee A., Lalk (2014). Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. PLOS ONE 9(8):e105981. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>.

14. Soil quality – European Commission – Europa EU. URL: <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-erodibilityeurope>.

15. Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment / E. Armenise, M. A. Redmile-Gordon, A.M. Stellacci, A. Ciccicarece, P. Rubino // *Soil I Tillage Research*. – 2013. – Vol. 130. – Pp. 91–98.

References

1. Dorosh, O.S. 2012. *Teoretyko-metodolohichni zasady terytorialnoho planuvannia zemlekorystuvannia [Theoretical and methodological principles of territorial land use planning]*. Hrin D.S.

2. Kuibida, V.S., & Bilokon, Yu.M. (2009). *Terytorialne planuvannia v Ukraini: Yevropeiski zasady ta natsionalnyi dosvid [Territorial planning in Ukraine: European principles and national experience]*. Lohos.

3. Sukhyi, P., Bilokrynytskyi, S., & Atamaniuk, M. (2013). *Terytorialne planuvannia ta raionne planuvannia [Territorial planning and district planning]*. Chernivetskyi natsionalnyi universytet.

4. Pro Heneralnu skhemu planuvannia terytorii Ukrainy [On the General Scheme for Planning the Ukrainian Territory], Law of Ukraine on February 7, 2002 № 3059-III.

5. Palekha, Yu.M., & Oleshchenko, A. (2014). Heneralna skhema planuvannia terytorii Ukrainy i strukturni zminy u vykorystanni zemel (za danymy shchorichnoho monitorynhu Heneralnoi skhemy [General scheme of territory planning of Ukraine and structural changes in land use (according to the annual monitoring data of the General Scheme)]. *Zemleustrii ta kadastr – Land and Cadastre*, (1), 20-25.

6. Pro vnesennia zmin do Zemelnogo kodeksu Ukrainy ta inshykh zakonodavchykh aktiv shchodo planuvannia vykorystannia zemel [On amendments to the Land Code of Ukraine and other legislative acts on land use planning], Law of Ukraine on June 17, 2020 № 711-IX.

7. Pro derzhavnyi kontrol za vykorystanniam ta okhoronoiu zemel [On State Control over Use and Protections of Lands], Law of Ukraine on June 19, 2003 № 963-IV.

8. Pro rehuliuвання mistobudivnoi diialnosti [On Regulation of City Planning Activity], Law of Ukraine on February 17, 2011 № 3038-VI.

9. Pro rehuliuвання mistobudivnoi diialnosti [On Land Management], Law of Ukraine on May 22, 2003 № 858-IV.

10. Perovych, I. (2014). Matematychnе modeliuвання zemel administratyvno-terytorialnykh odynyts [Mathematical modeling of lands of administrative-territorial units]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, 1(27), 70-72.

11. Fernandes, J.C., Gamero, C.A., Rodrigues, J.G.L., & Miras Avolos, J.M. (2011). Determination of the quality index of a Paleudult under sunflower culture and different management systems. *Soil and Tillage Research*, 112, 167–174.

12. Mandual, U.K., Ramachandran, K., Sharma, K., Satyam, B., Venkanna K., et al. (2011). Assessing Soil Quality in a Semiarid Tropical Watershed Using a Geographic Information System. *Soil Science Society of America Journal*, 75, 1144–1160.

13. Mukherjee, A., Lalk (2014). Comparison of Soil Quality Index Using Three Methods. PLOS ONE 9(8):e105981. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0105981>.

14. Soil quality – European Commission – Europa EU. <http://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/soil-erodibilityeurope>.

15. Armenise, E., Redmile-Gordon, M.A., Stellacci, A.M., Ciccicarece, A., & Rubino, P., (2013). Developing a soil quality index to compare soil fitness for agricultural use under different managements in the Mediterranean environment. *Soil I Tillage Research*, 130, 91–98.

Отримано 04.09.2022

Lev Perovych¹, Ihor Perovych², Roman Vanchura³, Kateryna Smoliy⁴

¹Doctor of technical sciences, Full Professor, Acting head of the department of Land Resources Management, Petro Mohyla Black Sea National University (Mykolaiv, Ukraine)

E-mail: levperovych@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0238-7072>

²Doctor of technical sciences, Associate Professor, Professor at the Department of economic expertise and land management department, West Ukrainian National University (Ternopil, Ukraine)

E-mail: cadastr@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3265-7088>

³PhD in Technical Sciences, Associate Professor of economic expertise and land management department, West Ukrainian National University (Ternopil, Ukraine)

E-mail: r.vanchura@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2782-2405>

ResearcherID: [ADF-0566-2022](https://orcid.org/0000-0002-2782-2405)

⁴PhD in Technical Sciences, Associate Professor of economic expertise and land management department, West Ukrainian National University (Ternopil, Ukraine)

E-mail: kateryna.smoliy@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6731-1557>

ResearcherID: [GQJ-8429-2022](https://orcid.org/0000-0001-6731-1557)

UNIVERSAL APPROACH TO TERRITORY ASSESSMENT

Assessment of the quality of individual parts of the earth's surface (territories) always causes a certain scientific and practical interest and is the basis of people's daily life. Therefore, the study of processes and the development of methods for assessing the quality of territories always remain an important problem, especially when the process of functional zoning of the territory of Ukraine begins.

The task of the research is to develop a universal algorithm for the assessment of territories based on the determination of its quality index and the possibility of using it to establish the value of territories in monetary terms, which will allow state authorities and local governments to effectively develop projects of functional zoning of territories. In world practice, three main methodical approaches are used to determine the value index of territories. All methodical approaches are based on three components: socio-economic, natural and ecological quality, sustainability of agricultural landscapes.

The research methodology is based on the methods of mathematical statistics and a systematic analytical approach to the selection of indicators of influence on the territory value index. The purpose of this publication is to develop a methodical approach capable of unifying the procedure for evaluating territories with different functional purposes.

In this publication, a fundamentally new approach to the evaluation of territories in Ukraine is proposed, which is based on the territory quality index indicator. At the same time, with the established value of territories in monetary terms, this methodical approach expands the capabilities of local self-government authority, as they set the price of a unit of area of the corresponding territory by their decision.

The proposed methodological approach is universal, which allows its using for territories of various functional purposes, including different categories of land, which greatly simplifies the assessment procedure.

Key words: quality index; indicator; territory; functional zoning.

Fig.: 1. References: 15.

Олександра Гулько

кандидат економічних наук, старший викладач кафедри кадастру територій

Національний університет "Львівська політехніка" (Львів, Україна)

E-mail: olesya-72@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-6149>ResearcherID: [AAE-8973-2022](https://orcid.org/AAE-8973-2022). Scopus Author ID: [57224950357](https://orcid.org/57224950357)**ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИХ ЧИННИКІВ
У ПОТЕНЦІАЛІ ЗЕМЕЛЬНИХ РЕСУРСІВ ВІННИЦЬКОЇ ОБЛАСТІ**

Враховуючи особливості регіону Вінницької області обґрунтовано напрями покращення екологічного становища сільських та господарських угідь. Розкрито підвищення ролі оцінки земель у врегулюванні в земельних відносинах, проаналізовано регулювання державою таких відносин та запропоновано шляхи удосконалення земельного законодавства, обґрунтовано напрями у створенні та процесі розвитку в ринку землі сільськогосподарського призначення, опрацьовано шляхи покращення екологічного становища земельних ресурсів і угідь.

Ключові слова: земельні ресурси; землекористування; ефективність земель.

Рис.: 1. Бібл.: 12.

Актуальність теми дослідження. Ринок та його сфери потребують удосконалення у процесах врегулювання в земельних відносинах, чим підвищується актуальність обраної теми.

Виникає необхідність розробки напрямів діяльності щодо розвитку земельних відносин, які спрямовані на досягнення ефективного, екологічнобезпечного землекористування, на удосконалення законодавства, у формуванні інфраструктури для ринку земель, для того щоб включити вартість земель у оборот економіки, що дасть змогу формувати інвестиційно-привабливе використання земель, розв'язків для екологічних та соціальних проблем селян.

Ввести в дію ці категорії можливо, спробувавши способи врегулювання розваженої політики та шляхом впровадження гідного фінансування для охоронної діяльності у сфері земель.

Постановка проблеми. Постановкою проблеми є розгляд економічного механізму врегулювання землекористування та аналіз у коригуванні для показників оцінки земель при тому, що є умови для вилучення деградованих і малопродуктивних земель, а також запропонувати впровадити схему еколого-економічної ефективності використання земельних ресурсів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Економічний механізм врегулювання землекористувань як об'єкт дослідження розглянуто в публікаціях таких учених, як С. А. Балюк, В. М. Ключко, А. Г. Мартин, С. А. Орел, М. А. Хвесик.

Окремого значення земельним ресурсам надає вчений М. А. Хвесик, який заявляє, що земля не фактором, а є даром, за допомогою якого можливі територіальні умови для застосування ресурсів.

У своїй праці вчений, академік НААН Балюк С.А. зазначає, що потенціал родючості ґрунтів має вагоме значення для статистики та обліку якісного їхнього стану насамперед, оскільки ґрунт та його покриви мають великий потенціал, саме в показниках родючості.

С. В. Бутенко зазначає, що є низка заходів, які не потребують якихось значних фінансових затрат, а от їхня дієвість може компенсувати зусилля, які були прикладені під виглядом збільшення в урожайності продукції».

На думку В. М. Ключка, «організаційно-економічний механізм – це сукупність форм і методів впливу державних установ і організацій на сукупність організованих суспільно-виробничих відносин, що становлять єдність з метою забезпечення конкурентних переваг.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Маючи безумовну вагу в теоретичних та прикладних напрацювань з цієї проблеми потрібно констатувати ще недосить вивчену обґрунтованість у питаннях, які пов'язаних із підвищенням ефективності застосування земельно-ресурсного потенціалу області.

Метою статті є розглянути економічний механізм врегулювання землекористування та проаналізувати коректування показників у економічній оцінці земель за умови, коли вилучаються деградовані й малопродуктивні землі на основах систематизації придатностей ґрунтів для вирощування просапних і зернових культур, а також запропонувати впровадити схему еколого-економічної ефективності використання земельних ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Земля та відносини в ній постійно мали головну вагу в житті, у діяльності та господарці народу України. Перетворення економіки в напрямі ринкових умов зумовила певні зміни в земельних відносинах, які реалізовані в приватизації землі, при зміні форми власності на землі, при сформованості відповідальності суб'єктів. Наступний розвиток і покращення земельних відносин у політиці країни, яка спрямована на екологічне і технологічно забезпечене використання земель [1].

Дієва й ефективна реалізація земельної реформи є першим кроком у виході нашої держави із соціальної, екологічної та економічної криз.

Земля, як природний ресурс, характеризується якісними відмінностями, що впливають на рівень родючості. Землі є кращої, середньої та гіршої якості, причому кількість перших двох обмежена та не може бути збільшена [10].

Земельні ресурси та земля – це є спільний природний запас на поверхнях для сукцесії як просторова база в розселенні та господарській діяльності, головний інструмент у виробництві в сільському господарстві [11].

Реформування земельних відносин у сучасних умовах повинно проводитися на засадах демократії за участю того населення, яке живе на цій місцевості [7].

Організаційно-економічний механізм – це сукупність форм і методів впливу державних установ і організацій на сукупність організованих суспільно-виробничих відносин, що становлять єдність з метою забезпечення конкурентних переваг [6].

Уся Вінницька область має загальну площу земель 2649,2 тис га, із них площа сільськогосподарських угідь – 2020,5 тис га, у тому числі рілля – 1732,3 тис га. Розораність по сільськогосподарських угіддях становить 86,9 %. Сінокоси і пасовища становлять 10,9 %. Сільськогосподарська освоєність землі, яка має 78,7 %, переважає над екологічно підтвердженими нормами.

Зміст економічного стимулювання раціонального використання і охорони земель розкрито у ст. 205 Земельного кодексу України, де передбачено заходи щодо забезпечення суб'єктами права власності на землю та раціональне землекористування, а саме: надання кредитних і податкових привілеїв при звільненні від платні за земельні ділянки, виділення коштів та компенсації з державних або місцевих бюджетів. Зазначимо, що ці механізми повинні діяти комплексно, здійснюючи послідовне державне управління природокористування, у тому числі раціональне землекористування, залучаючи економічні стимули до екологічно спрямованої діяльності різних суб'єктів господарювання.

На нашу думку, тут раціональним було б ввести поняття «еколого-економічна рівновага» – це баланс екологічних (змінних природних компонентів, що формують природне навколишнє середовище) та економічних (змінних залежно від землевласників і землекористувачів, що формують якість та вартість земельної ділянки) факторів, що забезпечує тривале раціональне використання земельних ресурсів.

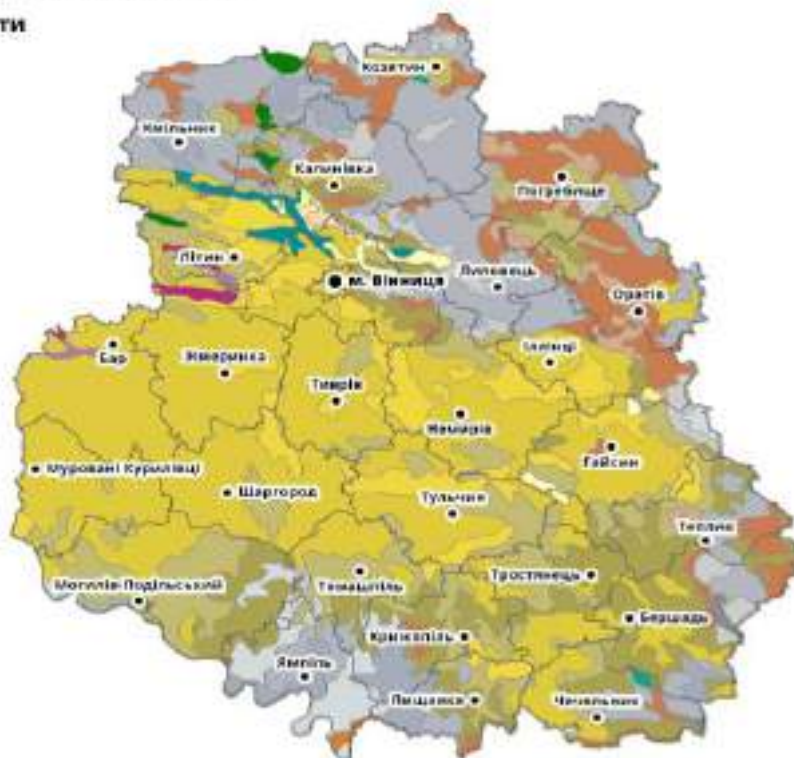


Рис. 1. Ґрунти Вінницької області [13]

В Україні на законодавчому рівні закріплено систему економічних стимулів. Їхнє завдання – підвищення зацікавленості земельних користувачів в оптимальному використуванні земель та покращенні екологічного стану угідь. Зокрема, якщо власник за свої кошти здійснив заходи, які є передбаченими загальнодержавними й регіональними програмами з охорони земель, він може отримати податкові та кредитні пільги [3].

Нерівномірність у складі земельного фонду області значно ослаблює екологічну ситуацію земель і ефективність використання сільськогосподарських угідь по даній території [2].

Ефективне використання земельного фонду сформовано трьома взаємопов'язаними компонентами, які окремо забезпечують виконання деяких функцій і потребують використання земельних та охоронних методів [8].

Ефективне використання земельних надр має на меті досягти економічного, екологічно безпечного ступеня та дотримання збалансованості вмісту добрив у ґрунті, для

запобігання певним видам ерозій, впровадження екологічно енергоощадних та безпечних технологій для обробітку різного типу ґрунтів, також науково обґрунтоване проведення меліоративних робіт [4].

Проблеми раціонального використання природних ресурсів та охорони навколишнього природного середовища передбачають застосування комплексу заходів, до яких належать ефективне застосування економічних інструментів разом із соціально-політичними, правовими, психологічними та етичними методами [12].

У дослідженнях встановлено, що головними заходами в підвищенні родючості ґрунту даної області є раціональне використання органічних і мінеральних добрив, впровадження практик застосування біологічних добрив, культивування багаторічних рослин, запровадження заходів боротьби з вітровою та водною ерозією. Виконання перелічених робіт потребує значних фінансових витрат. Тому вважаємо за доцільне проводити їх поетапно, що дозволить підвищити ефективність виконання заходів із консервації і меліорації земель Вінницької області й раціонально розподіляти фінансові ресурси державного та місцевих бюджетів, а також кошти землевласників і землекористувачів. Основним джерелом виконання робіт із лісомеліорації мають бути кошти державного й місцевих бюджетів. Роботи із залуження має фінансуватись переважно за рахунок коштів землевласників і землекористувачів.

Кожен землекористувач має право вибору, або використовувати ґрунт ефективніше, втрачати більше ґрунту через ерозію і мати його менше в майбутньому, чи здійснювати природоохоронні заходи, і його кількість не зменшиться.

Ефективне використання земель формують складові, кожна з них може забезпечувати здійснення деяких суспільних функцій та має потребу у здійсненні відповідних земельних та охоронних заходів [11].

Отже, організаційно-економічний механізм — це сукупність організаційних та економічних важелів, які впливають на організацій та економічні системи управління, сприяючи отримання певних переваг для ефективної діяльності підприємства [9].

Проблеми раціонального використання природних ресурсів та охорони навколишнього природного середовища передбачають застосування комплексу заходів, до яких відносять ефективне застосування економічних інструментів разом із соціально-політичними, правовими, психологічними та етичними методами.

Висновки. При переході економіки нашої держави до умов ринкових відносин здійснення господарювання зумовило певні зміни у сфері земельних відносин області, ці зміни знайшли своє відображення у процесі приватизації земель, при зміні у формах власності на землю, при сформуванні стимулювання суб'єктів господарювання при раціональному її застосуванні та охороні. У роботі запропоновано коригування певних показників економічної оцінки земель за умови вилучень деградованих і малопродуктивних земель на основі класифікації придатності ґрунтів для вирощування зернових культур. Це дасть можливість підвищити показники оцінки (як економічної, так і нормативної грошової), що сприятиме поліпшенню екологічної стійкості агроландшафтів, об'єктивній оцінці земельних ділянок.

Список використаних джерел

1. Аузан А. А. Институциональная экономика: новая институциональная экономическая теория / А. А. Аузан. – М. : ИНФРА-М, 2006. – 416 с.
2. Балюк С. Ґрунти та їхня родючість у правовому полі земельно-ринкових відносин / С. Балюк, А. Кучер // Раціональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів: організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти : колективна монографія. – К. : ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», 2015. – 432 с.
3. Бутенко Є. В. Порівняльний аналіз ефективності функціонування контурно-меліоративної організації території в Україні та США / Є. В. Бутенко, Р. А. Харитоненко // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2017. – № 3. – С. 93-99.

4. Гриценко А. А. Институциональная архитектура и динамика экономических преобразований / А. А. Гриценко. – К. : Форт, 2008. – 928 с.
5. Даниленко А. С. Формування ринку землі в Україні. – К. : Урожай, 2002. – 280 с.
6. Ключко В. М. Організаційно-економічний механізм підвищення конкурентоспроможності продукції АПК : автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.00.04 / В. М. Ключко. Харків : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. – 21 с.
7. Михасюк І. Управління земельних відносин : монографія / І. Михасюк, Б. Косович. – Львів : Львівський національний університет ім. Ів. Франка, 2002. – 264 с.
8. Новаковська І. О. Еколого-економічні засади трансформації сільськогосподарського землекористування в ринкових умовах : автореф. дис. ... канд. екон. наук / І. О. Новаковська. – К., 2009. – 19 с.
9. Орел С. А., Аналіз раціонального використання земель сільськогосподарського призначення / С. А. Орел // Агросвіт. – 2016. – № 9. – С. 56-60.
10. Соловій І. П. Землекористування: еколого-економічні проблеми, конфлікти, планування : навч. посіб. / І. П. Соловій. – Львів : Афіша, 2005. – 400 с.
11. Третяк А. М. Економіка землекористування та землевпорядкування : навч. посіб. / А. М. Третяк. – К. : ТОВ ЦЗРУ, 2004. – 542 с.
12. Худавердієва В. А. Роль податкової політики у виході аграрного виробництва з економічної кризи / В. А. Худавердієва // Економіка АПК. – 2004. - № 11. – С. 83-86.

References

1. Auzan, A.A. (2006). *Institutsionalnaia ekonomika: novaia institutsionalnaya ekonomicheskaiia teoriia [Institutional economics: new institutional economic theory]*. INFRA-M.
2. Balyuk, S., & Kucher, A. (2015). Grunty ta yikhnya rodyuchist u pravovomu poli zemelno-rynkovykh vidnosyn. Ratsionalne vykorystannya gruntovykh resursiv i vidtvorennya rodyuchosti gruntiv: orhanizatsiyno-ekonomichni, ekolohichni y normatyvno-pravovi aspekty [Soils and their fertility in the legal field of land-market relations]. *Ratsionalne vykorystannya gruntovykh resursiv i vidtvorennya rodyuchosti gruntiv: orhanizatsiyno-ekonomichni, ekolohichni y normatyvno-pravovi aspekty – Rational use of soil resources and reproduction of soil fertility: organizational-economic, ecological and normative-legal aspects*. NSC “Institute of Soil Science and Agrochemistry named after O.N. Sokolovsky”.
3. Butenko, E.V., & Kharitonenko, R.A. (2017). Porivnyalnyy analiz efektyvnosti funktsionuvannya konturno-melioratyvnoyi orhanizatsiyi terytoriyi v Ukrayini ta SSHA [Comparative analysis of the effectiveness of the contour-reclamation organization of the territory in Ukraine and the USA]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel – Land management, cadastre and land monitoring*, 3, 93-99.
4. Hrytsenko, A. (2008). *Institutsionalnaya arkhitektonika i dinamika ekonomicheskikh preobrazovaniy [Institutional architectonics and dynamics of economic transformations]*. Fort.
5. Danylenko, A.S. (2002). *Formuvannya rynku zemli v Ukrayini [Formation of the land market in Ukraine]*. Urozhai.
6. Klochko, V.M. (2012). *Orhanizatsiyno-ekonomichnyy mekhanizm pidvyshchennya konkurentospromozhnosti produktsiyi APK [Organizational and economic mechanism of increasing the competitiveness of agricultural products]* [PhD dissertation; KhNU named after V.N. Karazin].
7. Mykhasyuk, I., & Kosovych, B. (2002). *Upravlinnya zemelnykh vidnosyn [Management of land relations]*. Lviv National University named after Iv. Frank.
8. Novakovska, I.O. (2009). *Ekoloho-ekonomichni zasady transformatsiyi silskohospodarskoho zemlekorystuvannya v rynkovykh umovakh [Ecological and economic principles of transformation of agricultural land use in market conditions]* [PhD dissertation].
9. Orel, S.A. (2016). Analiz ratsional'noho vykorystannya zemel silskohospodarskoho pryznachennya [Analysis of the rational use of agricultural land]. *Agrosvit*, 9, 56–60.
10. Solovyi, I.P. (2005). *Zemlekorystuvannya: ekoloho-ekonomichni problemy, konflikty, planuvannya [Land use: ecological and economic problems, conflicts, planning]*. Poster.
11. Tretyak, A.M. (2004). *Ekonomika zemlekorystuvannya ta zemlevporiadkuvannya [Economics of land use and land management]*. CIARU LLC.

12. Khudaverdiyeva, V.A. (2004). Rol podatkovoyi polityky u vykhodi aharnoho vyrobnytstva z ekonomichnoyi kryzy [The role of tax policy in the recovery of agricultural production from the economic crisis]. *Ekonomika APK – Economy of agro-industrial complex*, 11, 83-86.

Отримано 25.08.2022

UDC 502.334.782(359)

Oleksandra Hulko

PhD in Economic Sciences, Senior Lecturer of the Department of land Cadastre
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: olesya-72@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1476-6149>

ResearcherID: [AAE-8973-2022](https://orcid.org/AAE-8973-2022). Scopus Author ID: [57224950357](https://orcid.org/57224950357)

EFFICIENCY OF USE OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC FACTORS IN THE POTENTIAL OF LAND RESOURCES OF VYNAT REGION

The following development and improvement in land relations in the village economy has meaning in the implementation of the state policy, which is aimed at ecological and technologically-secured use of land, which corresponds to the definitions for a clearly regulated and oriented market economy

In Ukraine, a system of economic incentives is fixed at the legislative level. They aim to increase the interest of land users in the optimal use of their land and improve the ecological condition of the land. In particular, if the owner, at his own expense, has carried out measures provided for by national and regional land protection programs, he can receive tax and credit benefits.

Effective land use is formed by three interrelated components, each of which ensures the performance of certain social functions and requires the implementation of a set of appropriate land protection measures.

Research has established that the main measures to increase soil fertility in this region are the rational use of organic and mineral fertilizers, the implementation of biological fertilizer practices, the cultivation of perennial plants, and the introduction of measures to combat wind and water erosion.

Carrying out the listed works requires significant financial costs. Therefore, we consider it expedient to carry them out in stages, which will increase the effectiveness of measures for the conservation and land reclamation of the Vinnytsia region and rationally distribute the financial resources of the state and local budgets, as well as the funds of landowners and land users.

Therefore, we consider it expedient to carry them out in stages, which will increase the effectiveness of measures for the conservation and land reclamation of the Vinnytsia region and rationally distribute the financial resources of the state and local budgets, as well as the funds of landowners and land users.

The main source of forest amelioration works should be funds from the state and local budgets. Landfilling works should be financed mainly from the funds of landowners and land users.

Keywords: land resources; land use; land efficiency.

Fig.:1. References: 12.

Наталія Ярема¹, Мирослава Прохоренко², Оксана Серант³, Тетяна Терех⁴

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: nataliia.p.yarema@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5796-2038>

Scopus Author ID: [57218923725](https://orcid.org/0000-0002-5796-2038)

²кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: myroslava.v.prokhorenko@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0624-0334>

Scopus Author ID: [55546862700](https://orcid.org/0000-0002-0624-0334)

³кандидат технічних наук, старший викладач кафедри вищої геодезії та астрономії
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: oksana.v.serant@lpnu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8062-1135>

Scopus Author ID: [57486071600](https://orcid.org/0000-0002-8062-1135)

⁴студент 2-го магістерського рівня вищої освіти Інституту геодезії
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: tetiana.terekh.mnz.2018@lpnu.ua

**СТВОРЕННЯ КАРТОГРАФІЧНОГО ВЕБДОДАТКА РОЗВИТКУ
КАФЕДРИ КАРТОГРАФІЇ ТА ГЕОПРОСТОРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

У статті описано вебкартографування розвитку кафедри картографії та геопросторового моделювання національного університету «Львівська політехніка». Зібрана інформація за період існування кафедри картографії та геопросторового моделювання. Створено вебкартографічний додаток, який складається із серії карт, який надає потрібну інформацію про науково-педагогічний і допоміжний склад кафедри, а також зможе зберегти історію кафедри для студентів, аспірантів та науково-педагогічних працівників. Стаття має оглядово-інформаційний характер.

Ключові слова: вебкартографія; ArcGis; ArcGis-online; картографічний вебдодаток; серія карт.

Рис.: 4. Бібл.: 10.

Актуальність теми дослідження. Кафедра картографії та геопросторового моделювання (КГМ) має цікаву історію. Її попередницею була кафедра теорії математичної обробки геодезичних вимірювань (ТМОГВ). Вона була створена у 1968 році. Основний напрям кафедри ТМОГВ – це математичне моделювання в геодезії, астрономії та геофізиці. Цей напрям на кафедрі започаткував керівник кафедри професор Г. О. Мещеряков. За результатами досліджень науковцями кафедри було опубліковано 450 наукових статей, а також видано 4 монографії, захищено 17 кандидатських та 2 докторські роботи. Великою заслугою професора Мещерякова було створення відомої у світі наукової школи, яка займалась дослідженням гравітаційного поля Землі та планет, досягнення якої застосовують у космічній геодезії та геофізиці дотепер. З відкриттям спеціальності «Картографія» у 2009 році кафедра стала випускною та змінила свою назву. Кафедрі присвоєно назву «Кафедра картографії та геопросторового моделювання» (КГМ). Її очолив професор П. Г. Черняга. На кафедрі започатковано наукові дослідження з картографування територій з урахуванням впливу геодинамічних процесів, створено наукові напрями з вебкартографування, тематичного картографування та ГІС-технологій. Отже, виникла потреба впорядкувати всю інформацію про науково-педагогічних працівників, які працювали на кафедрі картографії та геопросторового моделювання. Картографічне представлення якнайкраще допоможе відтворити усю історію кафедри, а саме зберегти цікаву та корисну інформацію про кожного наукового працівника. Це допоможе абітурієнту, студенту та звичайному користувачу досить швидко та доступно отримати інформацію про науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри.

Постановка проблеми. Основні задачі, які були поставлені перед написанням роботи:

1. Створити та структурувати набір вхідних даних, які були отримані з усних джерел, архіву кафедри картографії та геопросторового моделювання, а також з інтернет-ресурсів.

2. Використовуючи картографічну платформу ArcGIS Online, створити інтерактивну вебкарту науково-педагогічного та допоміжного складу працівників кафедри теорії математичної обробки геодезичних вимірів і кафедри картографії та геопросторового моделювання НУ «Львівська політехніка», яка міститиме інформацію про працівника (ПІБ, тему його дисертації, галузь наукових інтересів, посаду, місце навчання, роки роботи на кафедрі, фото та поточне місце праці), локалізовану по місцю його народження [4; 5; 7; 8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При написанні статті ми використовували інформацію про науково-педагогічний, а також та допоміжний склад кафедри картографії та геопросторового моделювання Національного університету «Львівська політехніка». Вихідними даними для цієї роботи стала інформація з книги «Картографія у Львівській політехніці: до 10-річчя заснування кафедри картографії та геопросторового моделювання» [2; 3; 6].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень публікацій показав, що питанням вебкартографування займалися наукові працівники кафедри картографії та геопросторового моделювання. На кафедрі були захищені магістерські роботи на тему «Вебкартографування розвитку кафедри вищої геодезії та астрономії Національного університету «Львівська політехніка» та «Вебкартографування розвитку кафедри геодезії Національного університету «Львівська політехніка» Також були опубліковані роботи [9; 10], у яких відображені результати подібних досліджень.

Метою статті є розробка картографічного вебдодатка кафедри картографії та геопросторового моделювання Національного університету «Львівська політехніка», що містить серію карт, який надасть користувачу потрібну інформацію про науково-педагогічний і допоміжний склад кафедри, а також допоможе зберегти її історію.

Виклад основного матеріалу. Після впорядкування усієї інформації була створена база даних у табличному редакторі *Microsoft Excel*. Після впорядкування цю інформацію було збережено у форматі Книга *Excel 97-2003* (рис. 1).

№	Ім'я	Посада	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
1	Михайло Іванович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
2	Олександр Петрович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
3	Тетяна Сергіївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
4	Володимир Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
5	Світлана Анатоліївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
6	Микола Дмитрович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
7	Людмила Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
8	Віктор Степанович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
9	Галина Миколаївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
10	Сергей Андрійович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
11	Татьяна Владимировна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
12	Владимир Александрович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
13	Светлана Николаевна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
14	Михайло Григорійович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
15	Олександр Леонідович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
16	Тетяна Юліанівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
17	Володимир Іванович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
18	Світлана Миколаївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
19	Микола Степанович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
20	Людмила Дмитрівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
21	Віктор Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
22	Галина Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
23	Сергей Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
24	Татьяна Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
25	Владимир Степанович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
26	Светлана Миколаївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
27	Микола Іванович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
28	Людмила Степанівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
29	Віктор Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
30	Галина Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
31	Сергей Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
32	Татьяна Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
33	Владимир Степанович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
34	Светлана Миколаївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
35	Микола Іванович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
36	Людмила Степанівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
37	Віктор Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
38	Галина Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
39	Сергей Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
40	Татьяна Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
41	Владимир Степанович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
42	Светлана Миколаївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
43	Микола Іванович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
44	Людмила Степанівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
45	Віктор Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
46	Галина Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
47	Сергей Миколайович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
48	Татьяна Іванівна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
49	Владимир Степанович	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці
50	Светлана Миколаївна	доцент	Тема дисертації	Галузь наукових інтересів	Місце навчання	Роки роботи на кафедрі	Фото	Поточне місце праці

Рис. 1. База науково-педагогічного та допоміжного складу кафедри картографії та геопросторового моделювання

Кожна з баз даних містить таку інформацію про працівника:

- порядковий номер працівника;
- ПІБ;
- посада;

- заклад навчання (університет та спеціальність);
- тема наукової дисертації;
- сфера наукових інтересів;
- рік початку праці на кафедрі (для працівників кафедри ТМОГВ) та роки праці на кафедрі (для працівників кафедри КГМ);
- місце народження ;
- географічні координати місця народження (широта, довгота);
- посилання на фотопрацівника;
- місце праці.

Для укладання вебкарт науково-педагогічного і допоміжного складу кафедри картографії та геопросторового моделювання використовуємо відповідне програмне забезпечення. Спочатку для створення *shape-файлу* будемо застосовувати картографічне середовище *ArcMap*. Після отримання *shape-файлу* в середовищі *ArcMap* експортуємо й архівуємо його. Наступний етап досліджень полягає в одержанні такої інформації, як зображення географічного розташування кожного об'єкту спостережень. У нашому випадку – це місце народження працівників кафедри, яке можна отримати в картографічному сервісі *ArcGIS Online*. На рис. 2 зображено карту України, яка буде містити інформацію про кожного працівника кафедри картографії та геопросторового моделювання, яка локалізована за місцем їх народження за допомогою географічних координат [8].

Як базову карту використовуємо відкритий проєкт *OpenStreetMap*, який спрямований на збір, збереження та поширення загальнодоступних геопросторових даних, а також створення інструментів роботи з ними. Після вибору способу картографічного зображення, покажемо фрагмент карти працівників кафедри картографії та геопросторового моделювання Львівської політехніки «Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри ТМОГВ» (рис. 2). З'явиться інформація про відповідного працівника кафедри, яку ми опрацьовували. Натиснувши на посилання поля *Фото*, отримаємо фото цього працівника кафедри [8].

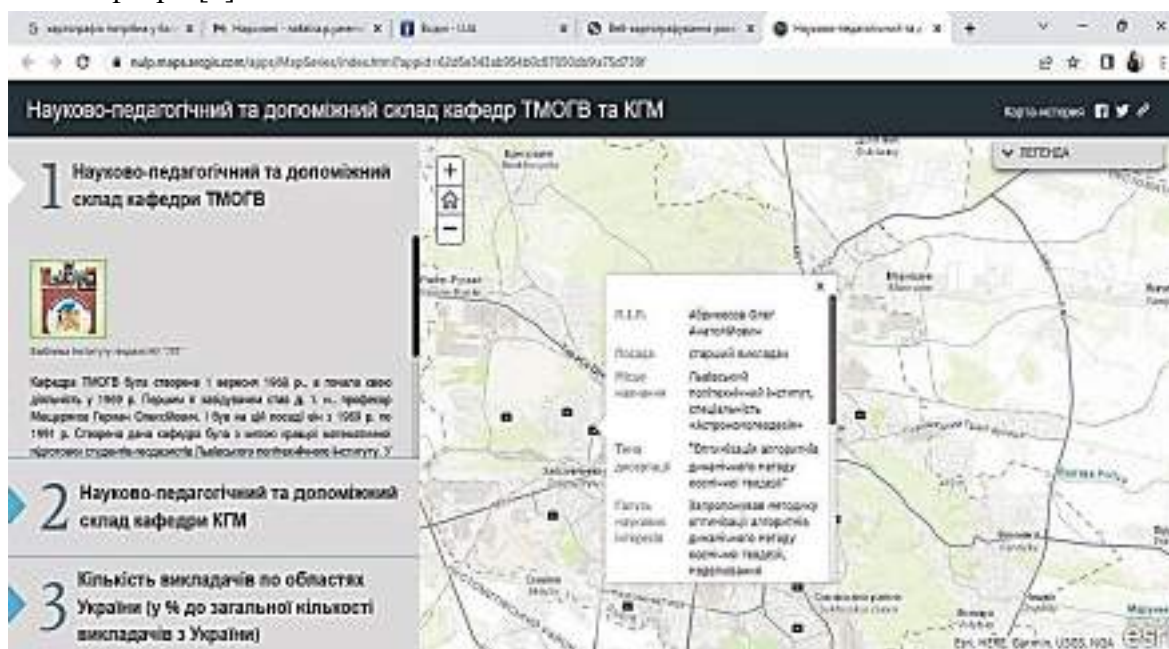


Рис. 2. Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри ТМОГВ

Аналогічним чином були створені карти «Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри КГМ» (рис. 3) та «Кількість викладачів по областях України (у відсотковому співвідношенні до загальної кількості викладачів з України)» (рис. 4).

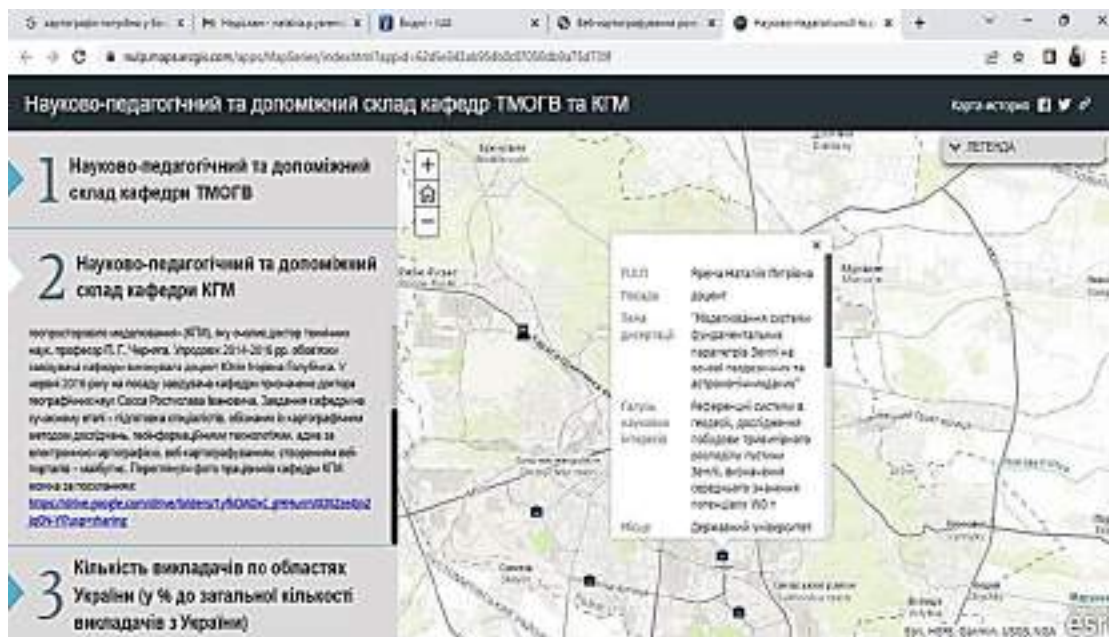


Рис. 3. Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри КГМ

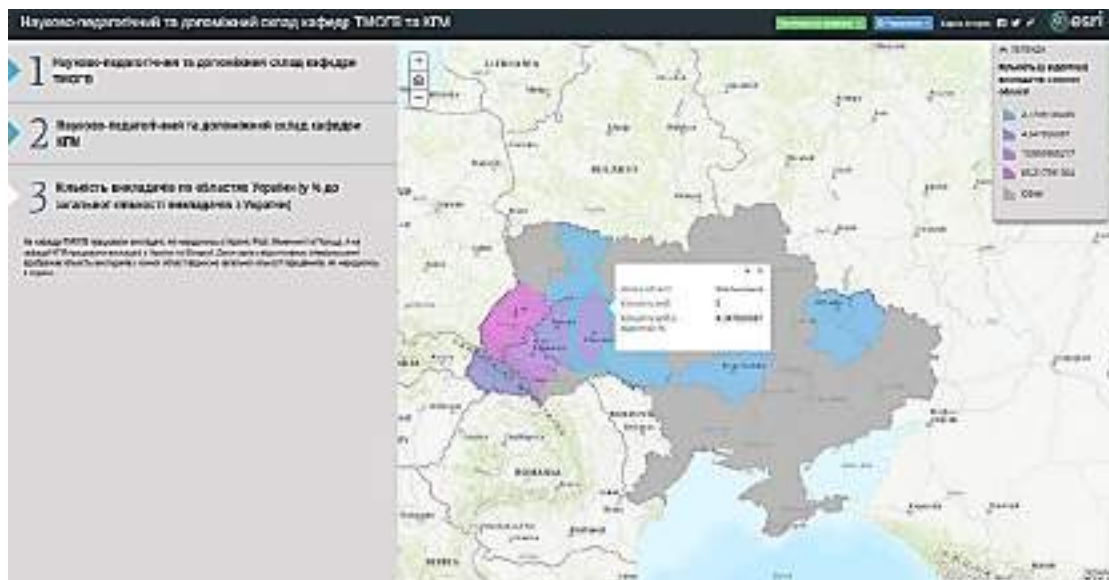


Рис. 4. Кількість викладачів по областях України (у відсотковому співвідношенні до загальної кількості викладачів з України)

Висновки. Отже, у результаті всіх покрокових дій у сервісі *ArcGIS Online*, було отримано картографічний вебдодаток серії вебкарт під назвою «Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри картографії та геопросторового моделювання Львівської політехніки», який містить такі карти:

1. Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри ТМОГВ;
2. Науково-педагогічний та допоміжний склад кафедри КГМ;
3. Кількість викладачів кафедр ТМОГВ та КГМ по областях України (у відсотковому співвідношенні до загальної кількості викладачів з України).

Список використаних джерел

1. Дудун Т. В. Освітній комплекс України та напрями його картографування / Т. В. Дудун // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – № 1. – С. 30–37.
2. Картографія у Львівській політехніці: до 10-річчя заснування кафедри картографії та геопросторового моделювання / Р. І. Сосса, П. М. Зазуляк, Ю. І. Голубінка, Н. П. Ярема. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. – 76 с.

3. Становлення картографічної освіти в Національному університеті «Львівська політехніка» / Р. Сосса, П. Зазуляк, Ю. Голубінка, Н. Ярема // Картографічне моделювання та географічні інформаційні системи : збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції, 03-05 жовтня 2019 р. – Львів, 2019. – С. 120–124.
4. Ярема Н. П. Географія студентів Інституту геодезії НУ «Львівська політехніка» на прикладі Львівської області / Н. П. Ярема, Д. А. Іванчук, О. Д. Приступа // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2016. – С. 45-50.
5. Аналіз та порівняння географії студентів Інституту геодезії НУ «Львівська політехніка» / Н. П. Ярема, Д. А. Іванчук, А. Р. Согор, О. В. Серант // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2017. – С. 28-35.
6. Ярема Н. П. Підготовка фахівців-картографів у Національному університеті «Львівська політехніка» / Н. П. Ярема, Ю. І. Голубінка, О. В. Ястребкова // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – 2017. – Вип. 26. – С. 79-82.
7. Ярема Н. П. Створення інтерактивної карти випускників кафедри картографії та геопросторового моделювання НУ «Львівська політехніка» / Н. П. Ярема, Т. М. Терех // Електронні інформаційні ресурси: створення, використання, доступ : збірник матеріалів міжнародної науково-практичної інтернет конференції пам'яті А. М. Петуха, 9-10 грудня 2019 р. – Суми ; Вінниця, 2019. – С. 287.
8. Вебкартографування розвитку кафедри геодезії Національного університету «Львівська політехніка» / Н. П. Ярема, А. Р. Согор, М. А. Согор, М. В. Прохоренко, О. В. Серант // Технічні науки та технології. – 2022. – Вип. 2(28). – С. 168–176.
9. Web-mapping of the development of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics of the Lviv Polytechnic National University [Електронний ресурс] / N. Yarema, O. Kubrak, K. Smoliy, R. Vanchura, V. Rachok, O. Porciuk // GeoTerrace-2021 : Міжнародна науково-технічна конференція молодих професіоналів, 4–6 жовтня 2021 р. – Львів, 2021. – DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3015>.
10. Web-mapping of graduates of the Institute of Geodesy of the Lviv Polytechnic National University (2019) [Електронний ресурс] / N. P. Yarema, M. V. Prokhorenko, A. R. Sohor, O. V. Serant, D. I. Ivantsiv, O. M. Porciuk // GeoTerrace-2021 : Міжнародна науково-технічна конференція молодих професіоналів, 4–6 жовтня 2021 р. – Львів, 2021. – DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3020>.

References

1. Dudun, T.V. (2015). Osvitnii kompleks Ukrainy ta napriamy yoho kartohrafuvannia [Educational complex of Ukraine and directions of its mapping]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Herald of geodesy and cartography*, (1), 30–37.
2. Sossa, R.I., Zazuliak, P.M., Holubinka, Yu.I., & Yarema, N.P. (2019). *Kartohrafiia u Lvivskii politekhnitsi: do 10-richchia zasnuvannia kafedry kartohrafii ta heoprostorovoho modeliuвання [Cartography at the Lviv Polytechnic: to the 10th anniversary of the establishment of the department of cartography and geospatial modeling]*. Lviv: Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki.
3. Sossa, R., Zazuliak, P., Holubinka, Yu., & Yarema, N. (2019). Stanovlennia kartohrafichnoi osvity v Natsionalnomu universyteti “Lvivska politekhnika” [Development of cartographic education at Lviv Polytechnic National University]. *Kartohrafichne modeliuвання ta heohrafichni informatsiini systemy: zbirnyk materialiv vseukrainskoi nauk.-prakt. konf. – Cartographic modeling and geographic information systems: collection of materials of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference* (pp. 120–124).
4. Yarema, N.P., Ivanchuk, D.A., & Prystupa, O.D. (2016). Heohrafiia studentiv Instytutu heodezii NU «Lvivska politekhnika» na prykladi Lvivskoi oblasti [Geography of students of the Institute of Geodesy of Lviv Polytechnic National University on the example of Lviv region]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, 45-50.
5. Yarema, N.P., Ivanchuk, D.A., Sohor, A.R., & Serant, O.V. (2017). Analiz ta porivniannia heohrafii studentiv Instytutu heodezii NU «Lvivska politekhnika» [Analysis and comparison of the geography of students of the Institute of Geodesy of Lviv Polytechnic National University]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, 28-35.
6. Yarema, N.P., Holubinka, Yu.I., & Yastrebkova, O.V. (2017). Pidhotovka fakhivtsiv-kartohrafiv u Natsionalnomu universyteti “Lvivska politekhnika” [Training of cartographers at the Lviv Polytechnic National University]. *Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafii – Problems of continuous geographic education and cartography*, 26, 79-82.
7. Yarema, N. P., & Terekh, T.M. (2019). Stvorennia interaktyvnoi karty vypuskniv kafedry kartohrafii ta heoprostorovoho modeliuвання NU “Lvivska politekhnika” [Creation of an interactive

map by graduates of the Department of Cartography and Geospatial Modeling of the Lviv Polytechnic National University]. *Elektronni informatsiini resursy:stvorenna, vykorystannia, dostup : zbirnyk materialiv mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet konferentsii pamiati A. M. Petukha – Electronic information resources: creation, use, access: a collection of materials of the international scientific practical internet conference in memory of A.M. Petuh* (pp. 287).

8. Yarema, N.P., Sohor, A.R., Sohor, M.A., Prokhorenko, M.V., & Serant, O.V. (2022). Vebkartohrafuvannia rozvytku kafedry heodezii Natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika» [Web mapping of the development of the department of geodesy of the National University “Lviv Polytechnic”]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (2(28)), 168–176.

9. Yarema, N., Kubrak, O., Smoliy, K., Vanchura, R., Rachok, V., & Popiuk, O. (2021). Web-mapping of the development of the Department of Photogrammetry and Geoinformatics of the Lviv Polytechnic National University. *GeoTerrace-2021*. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3015>.

10. Yarema, N.P., Prokhorenko, M.V., Sohor, A.R., Serant, O.V., Ivantsiv, D.I., & Popiuk, O.M. (2021). Web-mapping of graduates of the Institute of Geodesy of the Lviv Polytechnic National University (2019). *GeoTerrace-2021*. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215K3020>.

Отримано 06.09.2022

UDC 528

**Nataliya Yarema¹, Myroslava Prokhorenko²,
Oksana Serant³, Tetiana Terekh⁴**

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and Geospatial Modelling Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: nataliia.p.yarema@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5796-2038>

Scopus Author ID: [57218923725](https://orcid.org/0000-0002-5796-2038)

²PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Cartography and Geospatial Modelling Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: myroslava.v.prokhorenko@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0624-0334>

Scopus Author ID: [55546862700](https://orcid.org/0000-0002-0624-0334)

³Senior Lecturer of the Department of Higher Geodesy and Astronomy Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: oksana.v.serant@lpnu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8062-1135>

Scopus Author ID: [57486071600](https://orcid.org/0000-0002-8062-1135)

⁴Master of the Institute of Geodesy Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: tetiana.terekh.mnz.2018@lpnu.ua

CREATION OF THE CARTOGRAPHIC WEB APPLICATION OF THE DEVELOPMENT OF THE DEPARTMENT OF CFRTOGRAPHY AND GEOSPATIAL MODELLING OF LVIV POLYTECHNIC NATIONAL UNIVERSITY

The article is review and informative. A web application has been created from a series of maps that provide the user with information about the history of the Department of Cartography and Geospatial Modeling of Lviv Polytechnic National University. With the help of a series of maps, you can get the necessary information about the scientific-pedagogical and auxiliary staff of the Department of Cartography and Geospatial Modeling.

The data was processed and a database was created in the Microsoft Excel spreadsheet editor, which was used to create an interactive web map of the scientific-pedagogical and auxiliary staff of the Department of Cartography and Geospatial Modeling of Lviv Polytechnic National University.

The methods of cartographic representation are described, namely, the method of localized icons and the method of cartograms, which were used when laying out interactive web maps. The entire algorithm for laying out, editing interactive web maps and creating the web application consisting of a series of such web maps is described step by step and in detail.

As a result, the series of interactive web maps of employees of the Department of Cartography and Geospatial Modeling of Lviv Polytechnic National University, localized by place of birth, was obtained. Most of the teachers who worked or currently work at the Department of Cartography and Geospatial Modeling were born in Lviv Oblast and studied at Lviv Polytechnic Institute or Lviv Polytechnic National University.

The result of the research is the web application with the series of maps: “Scientific-pedagogical and auxiliary staff of the TMPGM department”, “Scientific-pedagogical and auxiliary staff of the CGM department”, “Number of teachers of TMPGM and CGM departments by regions of Ukraine (as a percentage of the total number of teachers from Ukraine)”.

Keywords: web cartography; ArcGis, ArcGis-online; web application; series of maps.

Fig.: 4. References: 10.

Павло Міхно¹, Ірина Лісовенко², Дмитро Бушуєв³, Ігор Риженко⁴

¹кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: mikhno1982@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8045-6478>. Scopus Author ID: [57215819875](https://orcid.org/57215819875)

²старший викладач кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: lisoenkoiv@ukr.net

³керівник групи геодезії, землеустрою та кадастру
Комунальне підприємство «Бюро містобудування та кадастру» (Кременчук, Україна)

E-mail: bushik00007@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5575-1686>

⁴старший викладач кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: rigik15@gmail.com

**ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
У БУДІВНИЦТВІ**

Проведений аналіз загальних підходів до застосування сучасних інженерно-геодезичних технологій для потреб будівництва та експлуатації будівель і споруд в Україні. Встановлено, що для підвищення точності та швидкості виконання робіт в процесі будівництва доцільно комбіновано застосовувати різні методи наземного та аерознімання для виконання топографічних знімків, і методи фотограмметрії та геоінформаційні технології – для складання планів проєктованої ділянки та прилеглих територій. Стаття є публікацією науково-методичного характеру.

Ключові слова: інженерна геодезія; будівництво; сучасні геодезичні технології; будівлі та споруди.

Рис.: 1. Бібл.: 29.

Актуальність теми дослідження. Інженерна геодезія за своїми задачами, методами й цілями є прикладною наукою, що досліджує питання, які виникають унаслідок спостережень окремих явищ технічного характеру та наявності невирішених практичних проблем. Інженерно-геодезичні роботи, що виконуються під час зведення будівель та споруд, пов'язані з усіма монтажними процесами їх зведення. Інженерно-геодезична діяльність для потреб будівництва спрямована на забезпечення розміщення будівель та споруд, зведення їхніх конструктивних елементів у точній відповідності до геометричних параметрів проєкту й вимог нормативних документів.

Розвиток галузі архітектури та будівництва супроводжується розробкою нетипових проєктів унікальних, складних будівель і споруд. При цьому актуальним стає питання обґрунтування та впровадження нових методів і норм виконання інженерно-геодезичних робіт з урахуванням сучасних потреб і умов будівництва.

Постановка проблеми. Виробничий процес сучасного будівництва містить:

- інженерні вишукування (сукупність економічних, технічних і екологічних досліджень району будівництва з метою отримання відомостей про наявні локальні умови);
- будівельне проєктування (комплекс робіт зі складання проєкту, необхідного для зведення будівлі (споруди));
- будівельно-монтажні роботи, що реалізують проєкт будівництва.

Для складання проєкту будівлі (споруди) проєктувальнику необхідно мати дані інженерно-геодезичних вишукувань (рельєф, гідрографія, рослинний покрив, дорожня мережа і т. ін.), інженерно-геологічних вишукувань (геолого-літологічні й тектонічні умови, фізико-механічні властивості ґрунтів, гідрогеологічні умови, фізико-геологічні процеси та явища і т. ін.), інженерно-гідрометеорологічних вишукувань (можливість затоплення паводковими водами, вітрові й снігові навантаження, температура навколишнього повітря і т. ін.). При цьому за всієї різноманітності чинників впливу на процес будівництва велике значення має інженерно-геодезичний супровід всіх етапів будівництва та спостереження під час експлуатації будівлі (споруди). Геодезист безпосередньо забезпечує роботу будівельників на кожному етапі будівництва. Для будівництва традиційним є комплекс геодезичних робіт, що включає створення

геодезичної розмічувальної мережі, розмічування на місцевості основних та головних осей проєктних споруд, детальні розмічувальні роботи для монтажу будівельних конструкцій та фундаментів технологічного устаткування, передачу позначок і прямокутних координат на монтажні горизонти, контроль у плані та по висоті спорудження будівельних конструкцій, вивірку вертикальності колон, виконавчі знімання та визначення деформацій (моніторинг). Для підвищення точності виконання таких робіт і скорочення часу на їх виконання необхідно використовувати сучасні досягнення науки і техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню проблеми застосування сучасних досягнень інженерно-технічної науки присвячені праці П. І. Барана, А. Г. Батракової, Б. Д. Бачишина, К. О. Бурака, В. Г. Бурачека, С. П. Войтенка, О. Л. Дорожинського, С. Д. Крячка, О. Є. Куліковської, К. Р. Третьяка, Р. В. Шульца, Г. П. Хохлова та інших вітчизняних вчених [1–12].

Закордонні концепції та методичні розробки [13; 14] характеризуються дедалі більшою інтеграцією вимірювань і аналізу у складні процеси будівництва, виробництва та моніторингу за рахунок застосування просторових перманентних методів, різноманітних датчиків і можливості обробляти спостереження в режимі реального часу.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. З розвитком сучасних технологій та появою нової вимірювальної техніки виникають питання, що потребують детальної наукової розробки. У галузі інженерної геодезії ці питання пов'язані із проблематикою застосування сучасних можливостей науки в умовах відставання діючих норм геодезичного забезпечення будівництва [15; 16] від новітніх засобів вимірювання та геодезичних технологій. Зокрема, дослідження нормативного забезпечення геодезичного супроводу дорожнього будівництва [11] наполягають на необхідності розроблення національного стандарту щодо виконання геодезичних робіт при спорудженні об'єктів дорожнього будівництва для забезпечення належної якості розмічувальних робіт, виконавчого знімання, геодезичного контролю якості будівельних робіт шляхом унормування сучасних геодезичних методів і засобів.

Метою статті є аналіз загальних методичних підходів до застосування сучасних інженерно-геодезичних технологій для потреб будівництва.

Виклад основного матеріалу. Геодезичні роботи, що виконуються на різних етапах життєвого циклу будівель і споруд (створення, експлуатації, ліквідації) [17], регламентуються різними нормативними документами і правилами, можуть виконуватися різними виконавцями та фінансуватися із різних джерел.

Склад геодезичних робіт для потреб будівництва та умови забезпечення точності їх виконання регламентовані в нормативних документах: ДБН В.1.3-2:2010 (разом зі зміною № 1 до цих державних будівельних норм), ДБН А.2.1-1-2008 [15; 16], що є обов'язковими для суб'єктів топографо-геодезичної та картографічної діяльності. У зв'язку з цим, в проєктах виконання робіт мають бути розраховані допуски, викладена методика виконання основних і детальних розмічувальних робіт. Увага має бути приділена також вибору приладів, інструментів і приладдя як для точних основних і детальних розпланувань, так і для установки конструкцій і контрольних-монтажних вимірювань. Розв'язуються ці завдання послідовно, залежно від стадій будівельно-монтажного виробництва, починаючи з ухвалення рішення про проведення будівництва об'єкта й закінчуючи введенням його в експлуатацію.

Одним із найважливіших документів для проєктування об'єкта будівництва є топографічні плани масштабу 1:500 як ділянки будівництва, так і прилеглої території. Тому необхідно звертати увагу на якість цих планів. Для прикладу на рис. 1 [18] наведено розмічувальний план для спорудження цивільної будівлі комерційного призначення у м. Кременчук Полтавської області.

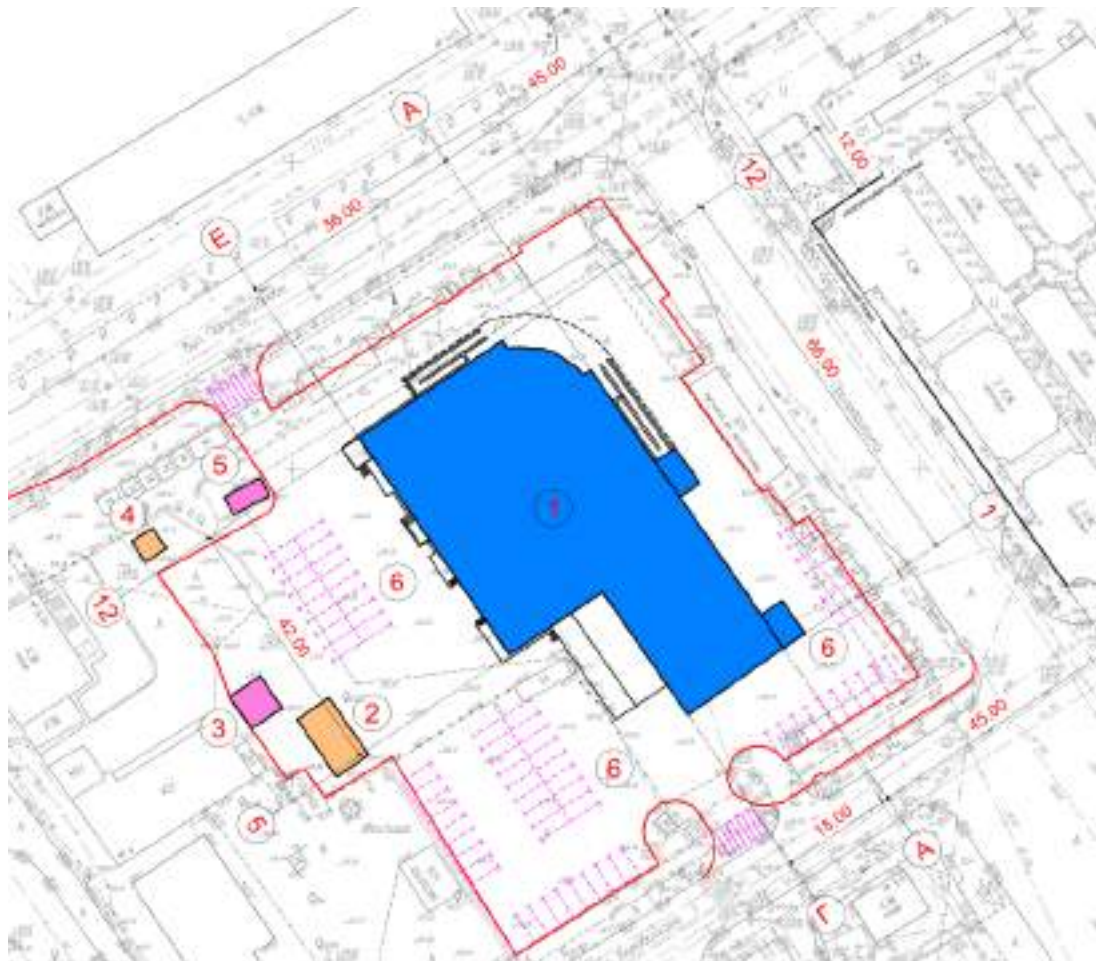


Рис. 1. Розмічувальний план об'єкта будівництва [18]

На підставі зібраних відомостей про раніше виконані топографо-геодезичні роботи на цьому об'єкті будівництва, одержаних в Управлінні у справах будівництва і архітектури м. Кременчука, та польового обстеження району робіт було виконано аналіз топографо-геодезичної вивченості об'єкта.

Встановлено, що:

- зміст топографічних планів масштабу 1:500 проєктованої ділянки, яка перебуває в користуванні замовника, не відповідає існуючій ситуації на місцевості (у результаті господарської діяльності контури місцевості і рельєф змінилися більше, ніж на 35 %);
- відсутні топографічні плани масштабу 1:500 прилеглої території, суміжних землевласників та землекористувачів;
- наявні топографічні плани масштабу 1:2000 території виготовлені за матеріалами аерофотознімання 1995 року.

Враховуючи зазначене та у зв'язку з економічною недоцільністю виправлення оригіналу топографічного плану виникла необхідність оновлення планово-картографічного матеріалу постало питання вибору засобів і технології виконання топографічного знімання для складання топографічних планів масштабу 1:500.

Особливістю геодезичних робіт при супроводі будівництва [10] є необхідність створення геодезичної основи необхідної точності та геодезичного забезпечення монтажних робіт для зв'язку різних етапів будівництва. Застосування класичних методів потребує розширення існуючої геодезичної основи до території будівельних майданчиків, що збільшує обсяг і терміни проведення робіт з геодезичного забезпечення будівництва.

Застосування сучасного геодезичного обладнання зменшує обсяг геодезичних робіт, збільшує швидкість їх виконання і зменшує вартість [19].

До загальних проблем інженерно-геодезичних вишукувань в Україні можна віднести застарілість методик і технологій, передбачених в чинній інструкції з топографічного знімання [20] та відсутність нормативних параметрів і допусків на застосування нових. Також на національному законодавчому рівні відсутні вимоги до формування топографічних планів у цифровому вигляді, що своєю чергою призводить до дублювання робіт та стримує розвиток загальнодержавного містобудівного кадастру.

Розвиток автоматизації виробництва призвів до появи якісно нової системи технологічних машин з керуючими засобами, що базуються на застосуванні електронних обчислювальних машин, програмованих логічних контролерів, інтелектуальних засобів вимірювання і контролю. Автоматизація процесів отримання інженерно-геодезичної інформації досягається застосуванням GNSS, електронних тахеометрів, цифрових нівелірів, лазерних рулеток, лазерних сканерів, безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та інших сучасних засобів.

Досягнення останніх років у сфері автоматизації збору, реєстрації та обробки даних і розвитку автоматизованих систем проектування на базі електронно-обчислювальної техніки дозволяють представити зображення місцевості у вигляді цифрових моделей місцевості.

У цифрових моделях місцевості точність планових і висотних координат визначається методом одержання первинної інформації. Для автоматизації інженерно-геодезичних вишукувань щодо картографування території доцільно використовувати різноманітні програмні комплекси (AutoCAD Map 3D, Raster Design, Digitals, ArcGIS), які дають змогу формувати топографічні плани в цифровому і графічному вигляді.

Програмне забезпечення сучасних роботизованих електронних тахеометрів дозволяє вирішувати ряд завдань геодезичного забезпечення будівництва, зокрема: винесення проектних точок і осей на місцевість, визначення координат неприступних точок, геодезичний контроль встановлення інженерних споруд і елементів будівельних конструкцій у проектне положення [21], спостереження за осіданнями та деформаціями будівель і споруд в реальному часі [12] та забезпечує широкі можливості дистанційного обміну даними. Роботизовані електронні тахеометри успішно та ефективно справляються і з більш специфічними, складними та трудомісткими завданнями, такими, як: проектування автошляхів, залізниць і тунелів.

Вибір приладів та обладнання, зазвичай, обумовлюють покладені на них завдання у межах бюджету будівництва, а також нормативні вимоги. Водночас за допомогою інноваційного обладнання можна виконувати роботи, що не до кінця вивчені в Україні, а тому не мають попиту.

До переваг електронних тахеометрів відносно GNSS–приймачів і БПЛА належить [22] менша ціна, проте вони потребують наявності пунктів геодезичної мережі, мінімум двох фахівців і більше часу для виконання знімання, можливості якого з однієї станції обмежені.

Переваги GNSS–приймачів: не обов'язковість прив'язки до геодезичної мережі, менша тривалість знімання, яке може здійснювати одна особа [23]. Натомість такі прилади можуть бути значно дорожчими, ніж електронні тахеометри.

Очевидними є переваги БПЛА: автоматичний процес аерознімання з можливістю знімання значних територій під час одного польоту за мінімального впливу суб'єктивного людського фактору. До недоліків БПЛА належить суттєва залежність від погодних умов [22].

У дослідженні [12] наголошується на необхідності застосування передових технологій для забезпечення будівництва аеропортів, а саме: аерознімання з використанням БПЛА, лідарного знімання висотних перешкод, лазерного сканування для детального знімання і складання планів фасадів наявних будівель і споруд.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку електронних геодезичних приладів [24] свідчить про завершення гонки за точністю приладів, яка наразі висока і забезпечує всі потреби геодезії. Модернізація GNSS–приймачів спрямована на розширення обсягу зберігання даних, зменшення впливу недоліків супутникового сигналу. розвиток

програмної частини та технологій візуального позиціонування. Вдосконалення електронних тахеометрів досягається розширенням їх функціональних можливостей і автоматизації виконання геодезичних робіт.

Використання спеціалізованих програмних комплексів і систем автоматизованого проєктування для проєктування об'єкта та камеральної обробки польових вимірювань (CREDO ГЕНПЛАН, CREDO DIALOGUE та ін.) дозволяє заощадити час на виконання геодезичних робіт і зменшити тривалість циклу «проєктування – виробництво» [12; 25].

Для підвищення якості проєктних рішень щодо будівництва автомобільних доріг і штучних споруд пропонується [25] використовувати єдиноформатну наскрізну автоматизовану обробку результатів геодезичних вимірювань.

Дослідження [3–5] наголошують, що досі немає єдиного простого й ефективного рішення, яке б враховувало особливості сучасних видів аерознімань, зокрема з БПЛА, та програмних модулів для створення моделей поверхні місцевості високої щільності DSM, моделей рельєфу DTM та ортофотопланів безпосередньо в інструментальних геоінформаційних системах (ГІС).

У загальній тенденції розвитку геоматики одним із помітних явищ стала інтеграція методів цифрової фотограмметрії у середовище геоінформаційних систем [4].

У склад програмних комплексів ГІС вводяться програмні фотограмметричні інструменти, які забезпечують отримання високоточної тривимірної інформації про геометричні параметри об'єктів місцевості зі знімків, отриманих різнотипними знімальними системами. Приклади такої інтеграції можна спостерігати в актуальних версіях програмного забезпечення ГІС. Наприклад, до складу ГІС ArcGIS входить програмний модуль Drone2Map, який дає змогу виконувати повний цикл автоматичного фотограмметричного опрацювання аерознімків.

Дво- та тривимірні моделі об'єктів місцевості, ортофотоплани, векторні картографічні дані тощо отримують відразу в структурах і форматах конкретної інструментальної ГІС. Це вигідно вирізняє інтегровані рішення від традиційного імпорту в ГІС таких даних, отриманих спеціалізованим фотограмметричним програмним забезпеченням. Провідна роль програмного модулю як постачальника даних цифрових фотограмметричних станцій зберігається під час виконання складних фотограмметричних проєктів. Дані, отримані на цифрових фотограмметричних станціях, передаються для подальшого аналізу та візуалізації в геоінформаційні системи. Таким чином, комбінування фотограмметричних методів і геоінформаційних технологій дозволяє забезпечувати можливості отримання цифрових моделей місцевості. Подальшим етапом технологічної ланки є перетворення таких моделей на картографічний продукт. Для великомасштабного картографування основним способом отримання контурної частини топографічних планів досі залишається ручне оконтурення людиною (оператором) об'єктів за ортофотопланом або за автоматично створеною 3D-моделлю. Ця процедура досі залишається недостатньо автоматизованою.

В окремих випадках існують суттєві обмеження можливості отримання достовірних і точних контурів об'єктів. Це стосується, насамперед, об'єктів місцевості, закритої кронами рослин і частинами дахів будівель, які нависають. Серед таких об'єктів виділяються будівлі (споруди), контури яких показують на картах й планах відповідно до вимог національних і галузевих нормативів. В Україні чинні норми вказують, що контур будівлі (споруди) необхідно на плані показувати за проєкцією цоколя з відображенням виступів та інших архітектурних деталей розміром від 0,5 мм у масштабі створюваного плану [15]. Отже, у великих масштабах картографування отримати коректний контур будівлі (споруди) складно як за ортофотопланом, так і за 3D-моделлю DSM. Перешкодою є наявність елементів конструкції дахів, які виступають за межі цоколю будівлі (споруди). Додаткові труднощі вносить наявність високої деревної рослинності поруч зі стінами будівель (споруд) і затінених областей (мертвих зон знімання).

Таким чином, для високоточного картографування будівель і споруд необхідне комбінування методів фотограмметрії (для збирання інформації) та аналітичних методів геоінформатики (для обробки інформації).

До об'єктів підвищеної складності відносяться сучасні стадіони. Методика і технологія виконання геодезичних робіт на таких об'єктах залежать від проєкту будівництва. Під час будівництва стадіону складність виконання геодезичних робіт пов'язана зі значною обмеженістю безпечних і надійних місць для встановлення приладів.

Необхідна точність виконання розмічувальних робіт під час будівництва стадіону може бути досягнута вимірюваннями електронним тахеометром за методом «вільної станції», який дозволяє виконувати вимірювання в будь-якій точці стадіону і забезпечує точність встановлення опорних деталей в проєктне положення у плані на рівні 2 мм. Розроблені методи і методики визначення металокопункцій стадіону [10] можуть бути застосовані під час будівництва стадіонів із подібною конструктивною схемою.

На сучасному етапі розвитку будівельних технологій потрібно враховувати та правильно оцінювати вплив якомога ширшого кола зовнішніх чинників на точність виконання геодезичних робіт. Зокрема, доцільно [7] враховувати температурні деформації будівельних конструкцій під час виконання інженерно-геодезичних робіт. Пропонується методика попереднього розрахунку точності інженерно-геодезичних робіт, що дає змогу на підставі оцінки величини впливу температурних деформацій будівельних конструкцій призначити точність виконання геодезичних робіт для всієї споруди і точність елементів розмічувальних робіт. При цьому розрахунок температурних переміщень будівельних конструкцій проводиться згідно з теорією пружності та передбачає розв'язання диференціальних рівнянь.

Методика обґрунтування точності геодезичного забезпечення будівельних конструкцій [2] базується на врахуванні впливу похибок геодезичних вимірювань на зміну напружено-деформованого стану конструкції у комплексі розрахунку, будівництва й експлуатації будівлі (споруди). Напрямами перспективних досліджень виділено всебічне врахування навантажень на конструкцію, точне визначення варіацій показників міцності бетону і сталі, застосування Гауссового показника надійності для будівель і споруд.

У монографії [9] розглядається підхід до розрахунку та оцінки точності інженерно-геодезичних вимірювань, що базується на обмеженні помилок контролю як самих вимірів у процесі їх безпосереднього виконання, так і параметрів об'єктів на стадії будівництва. Викладені рекомендації щодо визначення доцільних допусків, обробки та оцінки точності результатів, що відбираються за ними. Наведено теорію нормування точності вимірювальних і будівельних операцій на основі обмеження або повного виключення ймовірностей помилок контролю параметрів споруд, що будуються.

Наявні методи визначення планового положення пунктів внутрішніх геодезичних мереж будівель і споруд на монтажному горизонті (вертикального оптичного чи лазерного проєціювання, струнної вертикалі або створно-обернені лінійно-кутові засічки електронними тахеометрами з наземних пунктів зовнішньої геодезичної мережі будівельного майданчика) [26] забезпечують середні квадратичні похибки передачі координат пунктів на монтажний горизонт, встановлені ДБН В.1.3.2:2010 (5–9 мм) [15].

У сучасних умовах досі багатьом робітникам і галузевим фахівцям (дизайнерам, інженерам, геодезістам) на будівельних майданчиках і в офісі доводиться працювати з паперовими планами та передавати необхідну інформацію про розташування об'єкта будівництва особисто. Для поліпшення такої ситуації, забезпечення наочності та миттєвого доступу до інформації пропонується [8] інформаційне моделювання будівель і споруд з використанням хмар. Геодезист, використовуючи польовий контролер і спеціальне програмне забезпечення, та робітник, застосовуючи роботизований навігатор для розмічування та відповідне програмне забезпечення, можуть швидко отримати останню інформацію та доступ до інформаційної моделі будівлі шляхом під'єднання до хмари безпосередньо на будівельному майданчику.

Однією з характерних сучасних тенденцій виконання геодезичних робіт на будівельному майданчику є застосування технологій, які спрощують та полегшують роботу геодезиста, зокрема: сучасних цивільних смартфонів (планшетів) на базі Android, які за допомогою мобільних застосунків спроможні не тільки видавати інформацію в режимі перегляду, як звичайні текстові чи графічні файли (doc, txt, bmp, pdf тощо), але й виконувати додаткові розрахунки чи побудови у векторному форматі. Так мобільна версія програми AutoCAD (GnaCad) дозволяє працювати з файлами у форматі dxf, dwg та вирішувати додаткові завдання безпосередньо на місці виконання робіт. Також захищені смартфони можуть застосовуватися в якості контролерів для GNSS-приймачів, тому що мають усі необхідні функції та частоти мобільного зв'язку CDMA, GPRS, 3G, 4G, Wi-Fi тощо. За рахунок застосування подібних технологічних нововведень скорочується час на виконання інженерно-геодезичних робіт та підвищується ефективність роботи геодезиста, особливо в умовах воєнного стану і встановлених обмежень, без втрати точності та купівлі дороговартісного спеціального обладнання. Наприклад, при складанні плану колон під час будівництва торгового центру на польові роботи було витрачено 6 годин. При цьому працювало двоє професійних геодезистів (один безпосередньо з електронним тахеометром, другий виконував додаткові заміри на колонах). В результаті витрати праці склали 12 людино-годин. При складанні плану колон на іншому подібному об'єкті одним геодезистом використовувався інший електронний тахеометр однакової точності, проте з можливістю роботи без відбивача. Водночас, був застосований інший метод складання плану (знімання з різних станцій із додатковим контролем), внаслідок чого витрат часу було більше (8 годин). Проте, через виконання робіт одним працівником, витрати праці становили 8 людино-годин, що підвищує ефективність праці у 1,5 раза.

Корисною для геодезиста є розробка та постійне удосконалення спеціальних геодезичних і землевпорядних мобільних застосунків, що безпосередньо зв'язані з публічними даними та дають змогу працювати з різними растровими та векторними форматами. Так, додаток «кадастр UA» дозволяє як отримати інформацію у режимі пошуку, наприклад за кадастровим номером земельної ділянки, так і додатково завантажити свої дані, наприклад об'єми робіт в обмінному форматі grx та контролювати процес безпосередньо в полі.

Впроваджується у тестовому режимі Портал державної електронної системи у сфері будівництва [27], що об'єднує всі етапи будівництва та дозволяє здійснювати автоматичний контроль від розробки проєкту і до завершення будівельних робіт. Повноті та якості інженерно-геодезичного забезпечення будівництва сприятиме в перспективі також розроблення та впровадження національного порталу національної інфраструктури геопросторових даних в Україні [28].

Особливості геодезичного моніторингу протягом експлуатації будівель і споруд багато в чому визначаються специфікою конкретного об'єкта моніторингу.

Для вимірювання взаємного положення окремих конструкцій складних споруд і оперативного відстеження деформаційних зміщень пропонується [1] використовувати електронні автоматичні датчики (інклінометри) відхилень конструкцій від вертикалі та горизонталі з можливістю дистанційної передачі даних і оповіщення про перевищення допустимих відхилень контрольного параметра, що надзвичайно важливо для техногенно та екологічно небезпечних об'єктів (АЕС, ТЕС, ТЕЦ, греблі, шлюзи, підпірні стіни і дамби гідротехнічних споруд, відкоси кар'єрів, висотні будівлі, телевежі, мостові опори, баштові крани тощо).

На прикладі аналізу результатів циклів спостережень за осіданнями споруд теплоцентралі [6] обґрунтовується потреба систематичного геодезичного моніторингу стану об'єкта для виявлення характеру та інтенсивності деформаційних процесів і

осідань, а також складання графіків планово-запобіжних ремонтів. Для наочного визначення найбільш небезпечних ділянок на об'єкті дослідження та виявлення причин появи тріщин у стінах будівель побудована каркасна модель зміщень із використанням можливостей програми «3DWireframe».

Автоматизована система геодезичного моніторингу злітно-посадкових смуг аеропортів [29] дозволяє швидко виконувати нівелювання поверхні з регульованим кроком сканування в режимі дистанційного управління комплексом мобільних роботів.

Висновки. Визначення оптимальних умов застосування, необхідної точності та технології виконання геодезичних робіт під час будівництва цивільних об'єктів потребує подальшої наукової розробки у найближчі роки. При цьому перспективним є комбінування різних методів, наприклад наземного лазерного сканування та БПЛА, для підвищення швидкості виконання та здешевлення робіт.

Нормативне забезпечення виконання геодезичних робіт для потреб будівництва застаріле і не відповідає можливостям сучасних засобів геодезичного забезпечення будівництва. Необхідне вдосконалення існуючого нормативно правового забезпечення для вирішення проблем сучасної інженерної геодезії в Україні, а також формування нормативно-правових вимог щодо формування та ведення єдиної цифрової векторної моделі місцевості України.

Одним із основних завдань сьогодення інженерної геодезії в цілому є розроблення нових алгоритмів і засобів комунікації геодезистів й будівельників для швидкого передавання інформації, своєчасного аналізу результатів вимірювань у режимі реального часу та внесення необхідних коригувань у технологічний процес будівництва.

Важливим завданням є розробка методик розрахунку точності геодезичних робіт, які б комплексно враховували розрахунки за міцністю та ймовірну втрату стійкості будівлі (споруди) чи окремої конструкції. Потребою геодезичного забезпечення будівництва є широке впровадження технологій архівації для зберігання виконавчих схем і планів об'єктів будівництва у спеціалізованій базі даних.

У галузі управління будівельними та інфраструктурними проєктами перспективними є дослідження, пов'язані із побудовою інтерактивних інформаційних моделей будівель потрібними для цього приладами.

Потребують подальшого розвитку дослідження, пов'язані із розробкою модулів програмного забезпечення для автоматичного врахування впливу різноманітних джерел похибок в результатах геодезичних вимірювань.

Список використаних джерел

1. Інженерно-геодезичні роботи в Україні / П. І. Баран, К. О. Буряк, В. Я. Ковтун, А. П. Сухіна, К. Р. Третяк // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – № 5 (74). – С. 19–26.
2. Бачишин Б. Д. Обґрунтування точності геодезичного забезпечення будівельних конструкцій на основі аналізу їх роботи як пружинних тіл: стан і перспективи / Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. – 2014. – Вип. 61. – С. 6–12.
3. Войтенко С. П. Сучасна інженерна геодезія. Виклики та нові горизонти / С. П. Войтенко, Р. В. Шульц // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2016. – Вип. II (32). – С. 25–32.
4. Геоматика в моніторингу довкілля та оцінці загрозливих ситуацій / Дорожинський О. Л., Бурштинська Х. В., Глотов В. М. та ін. ; за ред. Олександра Дорожинського : монографія. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 400 с.
5. Дорожинський О. Л. Специфічний спосіб побудови ортофотозображень / Дорожинський О. Л., Колб І. З. // Моніторинг довкілля, фотограмметрія, геоінформатика – сучасні технології та перспективи розвитку: зб. наук. праць Восьмої наук.-практ. конфер. – Львів, 2017. – С. 21–26.
6. Куліковська О. Є. Результати геодезичних спостережень за осіданнями споруд ДП «Криворізька теплоцентраль» / О. Є. Куліковська // Інженерна геодезія. – 2014. – Вип. 61. – С. 26–35.
7. Шульц Р. В. Розрахунок впливу похибок вимірювання температури конструкцій на точність геодезичних робіт / Р. В. Шульц, О. П. Ісаєв, В. С. Стрілець // Містобудування та територіальне планування. – 2017. – Вип. 63. – С. 532–540.

8. Терновий М. І. Інформаційне моделювання будівель і нові інструменти / М. І. Терновий // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2016. – Вип. I (31). – С. 33–34.
9. Хохлов Г. П. Теорія і практика розрахунку й оцінки точності інженерно-геодезичних вимірювань : монографія / Г. П. Хохлов, О. Г. Хохлов. – Кременчук : КрНУ, 2017. – 324 с.
11. Батракова А. Г. Аналіз та узагальнення нормативного забезпечення з геодезичного супроводу об'єктів дорожнього будівництва / А. Г. Батракова, Є. В. Дорожко, Е. В. Захарова, О. М. Клюка // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. – 2021. – Том 4. – Вип. 164. – С. 99–103.
12. Крячок С. Д. Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів / С. Д. Крячок // Технічні науки та технології. – 2018. – № 1 (11). – С. 239–251.
13. Kuhlmann, H., Schwieger, V., Wieser, A., Niemeier, W. Engineering Geodesy – Definition and Core Competencies. *Journal of Applied Geodesy*. – 2014. – Vol. 8. – Pp. 327–334.
14. Niemeier W. Geodetic Techniques for the Navigation, Guidance and Control of Construction Processes. 3rd IAG / Niemeier W. // 12th FIG Symposium. – Baden, 2016. – 16 p.
15. ДБН В.1.3-2:2010. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2010.
16. ДБН А.2.1-1-2008. Вишукування, проектування і територіальна діяльність. Вишукування. Інженерні вишукування для будівництва. – [Чинний від 01-07-2008]. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2008. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40217.
17. Григоровський П. Є. Роль і місце геодезичних робіт у будівельному комплексі. Нормативна база геодезичних робіт / П. Є. Григоровський // Будівельне виробництво. – 2018. № 64. – С. 8–12.
18. Міхно П. Б. Проблеми застосування традиційних інженерно-геодезичних технологій в Україні в сучасних умовах / П. Б. Міхно, С. Кашуба, Д. С. Бушуєв // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Технічні та економічні рішення з протидії глобальним викликам» 17–20 вересня 2020 р., Кременчук. – Одеса. Кременчук, 2020. – С. 150–154.
19. Куліковська О. Є. Проблеми впровадження сучасного геодезичного обладнання у кадастровій діяльності Кривого Рогу / О. Є. Куліковська, Ю. Ю. Атаманенко, О. К. Копаєгора // Вісник Криворізького національного університету. – 2019. – Вип. 48. – С. 50–57.
20. Про затвердження Інструкції з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98): Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 9 квітня 1998 р. № 56. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.
21. Міхно П. Б. Геодезичний контроль встановлення обсадних труб з використанням електронного тахеометра Leica TS16 / П. Б. Міхно, С. П. Лашко, А. А. Лященко // Традиційні та інноваційні напрямки досліджень у геодезії, землеустрої та кадастрі: матер. Всеукр. наук.-практ. Інтер.-конф. (м. Умань, 27 квітня 2022 р.). – Умань, 2022. – С. 29–31.
22. Куліковська О. Є. Інженерно-геодезичний супровід визначення параметрів і напрямів рекультивативі порушених земель у гірничодобувному регіоні / О. Є. Куліковська, В. О. Катушков // Містобудування та територіальне планування. – 2022. – Вип. 79. – С. 212–225.
23. Створення геодезичної основи для відновлення меж земельних ділянок супутниковими методами / В. Артамонов, М. Василенко, Міхно П., Карий В. // Технічні науки та технології. – 2021. – № 2 (24). – С. 218–226.
24. Можливості сучасного електронного геодезичного обладнання та тенденції його розвитку / М. А. Кухар, О. В. Доброходова, А. А. Євдокімов, М. Л. Мироненко // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. – 2021. – Том 4. Вип. 164. – С. 122–127.
25. Обґрунтування доцільності єдиноформатної технології автоматизованої обробки результатів геодезичних вимірювань / Є. В. Дорожко, Е. В. Захарова, Г. С. Саркісян, П. Б. Міхно // Комунальне господарство міст. Сер.: Технічні науки та архітектура. – 2021. – Том 6. – Вип. 166. – С. 103–107.
26. Баран П. І. Методи непрямої передачі координат пунктів внутрішньої геодезичної мережі будівлі на монтажний горизонт / П. І. Баран // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2019. – № 90. – С. 5–14.

27. Портал державної електронної системи у сфері будівництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://e-construction.gov.ua>.

28. Про затвердження Порядку функціонування національної інфраструктури геопросторових даних [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету міністрів України від 26 травня 2021 р. № 532. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#Text>.

29. Автоматизована система геодезичного моніторингу злітно-посадкової смуги / В. Бурачек, С. Крячок, Т. Малік, Л. Мамонтова, В. Немих // Технічні науки та технології. – 2018. № 4 (14). – С. 248–257.

References

1. Baran, P.I., Burak, K.O., Kovtun, V.Ya., Sukhina, A.P., & Tretiak, K.R. (2011). Inzhenerno-heodezychni roboty v Ukraini [Engineering surveying works in Ukraine]. *Visnyk heodezii ta kartohrafi – Bulletin of Surveying and Mapping*, 5, 19–26.

2. Bachyshyn, B.D. (2014). Obhruntuvannya tochnosti heodezychnoho zabezpechennia budivelnikh konstrukttsii na osnovi analizu yikh roboty yak pruzhynnykh til: stan i perspektyvy [Justification of accuracy of geodetic support of building structures based on an analysis of their work as elastic bodies: status and prospects]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering surveying*, 61, 6–12.

3. Voitenko, S.P., & Shults, R.V. (2016). Suchasna inzhenerna heodeziia. Vyklyky ta novi horyzonty. [Modern engineering geodesy. Challenges and new horizons]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodesic science and industry*, II, 25–32.

4. Dorozhynskiy, O.L. (Red.). (2016). *Heomatyka v monitorynhu dovkillia ta otsyntsi zahrozlyvykh sytuatsii* [Geomatics in environmental monitoring and threat assessment]. Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki.

5. Dorozhynskiy, O.L., & Kolb, I.Z. (2017). Spetsyfichni sposib pobudovy ortofotozobrazhen [A specific method of creating orthophoto images]. *Monitorynh dovkillia, fotogrammetriia, heoinformatsiia – suchasni tekhnologii ta perspektyvy rozvytku: zb. nauk. prats Vosmoi nauk.-prakt. konfer – Environmental monitoring, photogrammetry, geoinformatics – modern technologies and development prospects: Collection of scientific papers of the Eighth scientific-practical conference* (pp. 21–26).

6. Kulikovska, O.Ye. (2014). Rezultaty heodezychnykh sposterezhen za osidanniamy sporud DP «Kryvorizka teplotsentral» [Results of geodetic observations of precipitation structures SE «Krivorozhskaya teplocentral»]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering surveying*, 61, 26–35.

7. Shults, R.V., Isaiev, O.P., & Strilets, V.S. (2017). Rozrakhunok vplyvu pokhybok vymiriuvannia temperatury konstrukttsii na tosnist heodezychnykh robit [Calculation of the impact of structural temperature measurement errors on the accuracy of geodetic works]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban development and spatial planning*, 63, 532–540.

8. Ternovyi, M.I. (2016). Informatsiine modeliuвання budivel i novi instrumenty [Building information modeling and new instruments]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodesic science and industry*, I, 33–34.

9. Khokhlov, H.P., & Khokhlov, O.H. (2017). *Teoriia i praktyka rozrakhunku y otsinky tochnosti inzhenerno-heodezychnykh vymiriuvan* [Theory and practice of calculation and evaluation of accuracy of engineering surveying measurements]. KrNU.

10. Shults, R.V., Bilous, M.V., Annenkov, A.O., Kovtun, V.Ya., & Khailak, A.M. (2013). Osoblyvosti inzhenerno-heodezychnoho zabezpechennia budivnytstva stadionu «Arena Lviv» [Features of engineering surveying support for the construction of the stadium «Arena Lviv»]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban development and spatial planning*, 50, 759–766.

11. Batrakova, A.H., Dorozhko, Ye.V., Zakharova, E.V., & Kliuka, O.M. (2021). Analiz ta uzahalnennia normatyvnoho zabezpechennia z heodezychnoho suprovodu ob'ektiv dorozhnoho budivnytstva [Analysis and generalization of regulatory support for geodesic support of road construction objects]. *Komunalne hospodarstvo mist. Ser.: Tekhnichni nauky ta arkhitektura – Municipal economy of cities. Series: Engineering science and architecture*, 4(164), 99–103. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-99-103>.

12. Kriachok, S.D. (2018). Topografo-heodezychne zabezpechennia aeroportiv. [Topographic and geodetic support of airports]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 1, 239–251. doi: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-239-251.

13. Kuhlmann, H., Schwieger, V., Wieser, A., & Niemeier, W. (2014). Engineering Geodesy – Definition and Core Competencies. *Journal of Applied Geodesy*, 8, 327–334.

14. Niemeier, W. (2016). Geodetic Techniques for the Navigation, Guidance and Control of Construction Processes. 3rd IAG / 12th FIG Symposium. Baden.

15. Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. (2010). *Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi. Heodezychni roboty u budivnytstvi* [System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction. Geodetic works in construction] (DBN V.1.3-2:2010).

16. Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy. (2008). Vyshukuvannia, proektuvannia i terytorialna diialnist. Vyshukuvannia. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva [Research, design and territorial activities. Researches. Engineering exploration for construction] (DBN A.2.1-1:2008). http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40217.

17. Hryhorovskiy, P. Ye. (2018). Rol i mistse heodezychnykh robot u budivelnomu kompleksi. Normatyvna baza heodezychnykh robot. [Role and place of geodesic works in the construction complex. Normative base of geodesic works]. *Budivelne vyrobnytstvo – Construction production*, 64, 8–12.

18. Mikhno, P. B., Kashuba, S. & Bushuiev, D. S. (2020). Problemy zastosuvannia tradytsiinykh inzhenerno-heodezychnykh tekhnolohii v Ukraini v suchasnykh umovakh [Problems of application of traditional *engineering surveying* technologies in Ukraine in modern conditions]. *Materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsiia «Tekhnichni ta ekonomichni rishennia z protydii hlobalnym vyklykam» 17-20 veresnia 2020 r. Kremenchuk – Odesa – Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Technical and Economic Solutions to Countering Global Challenges» September 17–20, 2020. Kremenchuk – Odesa*. Kremenchuk, 150–154.

19. Kulikovska, O. Ye., Atamanenko, Yu. Yu., Kopaihora, O. K. (2018). Problemy vprovadzhennia suchasnoho heodezychnoho obladdannia u kadastrivii diialnosti Kryvoho Rohu. [Problems of introducing modern geodetic equipment in the cadastral activity of Kryvyi Rih.]. *Visnyk Kryvorizkoho natsionalnoho universytetu – Journal of Kryvyi Rih National University*, 48, 50–57.

20. Pro zatverdzhennia Instruksii z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 [About the statement of the Instruction on topographic surveying at 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500 scales (HKNTA-2.04-02-98)], Nakaz Holovnoho upravlinnia heodezii, kartohrafiia ta kadastru pry Kabineti Ministriv Ukrainy № 56(1998) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.

21. Mikhno, P.B., Lashko, S.P., & Liashchenko, A.A. (2022). Heodezychnyi kontrol vstanovlennia obsadnykh trub z vykorystanniam eklektrnnoho takheometra Leica TS16 [Geodetic control of the installation of casing pipes using the Leica TS16 electronic total station]. *Tradytsiini ta innovatsiini napriamky doslidzhen u heodezii, zemleustroi ta kadastru: mater. Vseukr. nauk.-prakt. Inter.-konf. (m. Uman, 27 kvitnia 2022 r.) – Traditional and innovative directions of research in geodesy, land management and cadastre: Proceeding of the All-Ukrainian science and practice Internet conference (Uman, April 27, 2022)* (pp. 29–31). Uman.

22. Kulikovska, O.Ye., & Katushkov, V.O. (2022). Inzhenerno-heodezychnyi suprovitd vyznachennia parametriv i napriamiv rekultyvatsii porushenykh zemel u hirnychodobuvnomu rehioni [Engineering and geodetic support definition of parameters and directions of disturbed lands reclamation in the mining area]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban development and spatial planning*, 79, 212–225.

25. Artamonov, V., Vasylenko, M., Mikhno, P., & Karyi, V. (2021). Stvorennia heodezychnoi osnovy dlia vidnovlennia mezh zemelnykh dilianok suputnykovymy metodamy. [Creation of a geodetic basis for restoring the boundaries of land plots by satellite methods]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2, 218–226. DOI: [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-218-226](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-218-226).

24. Kukhar, M.A., Dobrokhodova, O.V., Yevdokimov, A.A., & Myronenko, M.L. (2021). Mozhyvosti suchasnoho elektronnoho heodezychnoho obladdannia ta tendentsii yoho rozvytku [Possibilities of modern electronic geodesic equipment and trends of its development]. *Komunalne hospodarstvo mist. Ser.: Tekhnichni nauky ta arkhitektura – Municipal economy of cities. Series: Engineering science and architecture*, 4(164), 122–127. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-4-164-122-127>.

25. Dorozhko, Ye.V., Zakharova, E.V., Sarkisian, H.S., & Mikhno, P.B. (2021). Obruntuvannia dotsilnosti yedynofomatnoi tekhnolohii avtomatyzovanoi obrobky rezultativ heodezychnykh vymiriuvan [Justification of the executivity of the single-format technology of automated processing of the results of geodesic measurements]. *Komunalne hospodarstvo mist. Ser.: Tekhnichni nauky ta arkhitektura – Municipal economy of cities. Series: Engineering science and architecture*, 6(20), 103–107. doi: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2021-6-166-103-107>.

26. Baran, P.I. (2019). Metody nepriamoї peredachi koordynat punktiv vnutrishnoi heodezychnoi merezhi budivli na montazhnyi horyzont [Methods of indirect transfer of internal geodetic network point coordinates of a building to an assembly horizon]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and arial photography*, 90, 5–14. doi: <https://doi.org/10.23939/istcgcap2019.90.005>.

27. Portal derzhavnoi elektronnoi systemy u sferi budivnytstva [The portal of the state electronic system in the field of construction]. <https://e-construction.gov.ua/>.

28. Pro zatverdzhennia Poriadku funktsionuvannia natsionalnoi infrastruktury heoprosorovykh danykh [About the statement of the Procedure for the functioning of the national infrastructure of geospatial data], Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy № 532. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/532-2021-%D0%BF#Text>.

29. Burachek, V., Kriachok, S., Malik, T., Mamontova, L., & Nemykh, V. Avtomatyzovana systema heodezychnoho monitorynhu zlitno-posadkovoї smuhy [Automated runway geodetic monitoring system]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 4, 248–257.

Отримано 16.09.2022

UDC 528.48

Pavlo Mikhno¹, Iryna Lisovenko², Dmytro Bushuiev³, Ihor Ryzhenko⁴

¹PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Civil Safety, Labor Protection, Geodesy and Land Management

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)

E-mail: mikhno1982@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8045-6478>. Scopus Author ID: [57215819875](https://orcid.org/57215819875)

²Senior Lecturer of the Department of Civil Safety, Labor Protection, Geodesy and Land Management
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)

E-mail: lisoenkoiv@ukr.net

³Head of the Geodesy, Land Management and Cadastre group
Municipal Enterprise «Urban development and Cadastre Bureau» (Kremenchuk, Ukraine)

E-mail: bushik00007@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5575-1686>

⁴Senior Lecturer of the Department of Civil Safety, Labor Protection, Geodesy and Land Management
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)

E-mail: rigik15@gmail.com

FEATURES OF APPLICATION OF MODERN GEODESIC TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTING

The article analyzes the general approaches to the application of modern engineering surveying technologies for the needs of construction in Ukraine.

The study involves a review and analysis of modern research and current regulatory requirements in the field of geodetic support of the construction process.

The development of engineering surveying in Ukraine is characterized by the lag of the current norms of geodetic support of construction from the latest measuring instruments and geodetic technologies.

To improve the accuracy of work and reduce its performance time, it is necessary to use modern advances in science and technology.

In case of necessity of updating of planning and cartographic material the actual question of a choice of means and technology of performance of topographic survey for drawing up of topographic plans of scale 1:500 arises. In the process of high-precision mapping of buildings and structures for the collection and processing of information requires a combination of methods of photogrammetry and analytical methods of geoinformatics.

Electronic automatic sensors of deviations of structures from vertical and horizontal with the possibility of remote data transmission and notification of exceeding the permissible deviations of the control parameter are used to measure the relative position of individual structures of complex structures and operational tracking of deformation displacements.

At the present stage of development of construction technologies it is necessary to take into account and correctly assess the impact of the widest possible range of external factors on the accuracy of geodetic works.

One of the main tasks of today's engineering surveying in general is to develop new algorithms and means of communication for surveyors and builders for rapid transmission of information, timely analysis of real-time measurement results and making necessary adjustments to the construction process.

Research related to the development of software modules to automatically take into account the impact of various sources of error in the results of geodetic measurements requires further development.

The article is a publication of scientific and methodical character.

Keywords: engineering surveying, construction, modern geodetic technologies, buildings and structures.

Fig.: 1. References: 29.

Надія Гальченко¹, Олена Клюка², Валентин Козарь³, Володимир Бахарев⁴

¹кандидат біологічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: nadingal9@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2659-177X>

Scopus Author ID: [57245296500](https://orcid.org/0000-0003-2659-177X)

²кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: klyukalena@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9250-1157>

Scopus Author ID: [57245477900](https://orcid.org/0000-0002-9250-1157)

³кандидат технічних наук, доцент кафедри цивільної безпеки, охорони праці, геодезії та землеустрою
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: v.kozar@meta.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4084-3507>

ResearcherID: [Q-1403-2015](https://orcid.org/0000-0003-4084-3507). Scopus Author ID: [57245385300](https://orcid.org/0000-0003-4084-3507)

⁴доктор технічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту механічної інженерії,
транспорту та природничих наук
Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (Кременчук, Україна)

E-mail: v.s.baharev@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9312-654X>

Scopus Author ID: [57195424074](https://orcid.org/0000-0001-9312-654X)

ДИНАМІКА ТА ПРОСТОРОВИЙ РОЗПОДІЛ ЗЕМЕЛЬ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Розглянуто динаміку створення об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ) за 1990-2020 роки. Визначено сучасну структуру земель ПЗФ Полтавської області за категоріями об'єктів, яка налічує 393 одиниці територій та об'єктів загальною площею 142 789,7562 га, що становить 4,96 % від загальної площі області. За уточненими даними здійснено розподіл просторового розташування територій та об'єктів ПЗФ до та після проведення адміністративно-територіальної реформи. Оцінено території районів області за відсотком заповідності, індексом інсуляризованості та загальним показником цільності об'єктів ПЗФ на території області. Отримані результати просторового розподілу земель ПЗФ можуть бути використані для прийняття управлінських рішень територіальними громадами шляхом створення нових або об'єднання наявних категорій ПЗФ.

Ключові слова: природно-заповідний фонд; кадастр; землеустрій і моніторинг земель.

Рис.: 2. Табл.: 4. Бібл.: 19.

Актуальність теми дослідження. Природно-заповідний фонд (ПЗФ) охороняється як національне надбання, щодо якого встановлено особливий режим охорони, відтворення і використання. Україна розглядає цей фонд як складову частину світової системи природних територій. Розвиток системи природоохоронних територій є важливою передумовою для забезпечення сталого розвитку країни.

Державною стратегією регіонального розвитку на 2021–2027 роки, затвердженою постановою Кабінету Міністрів від 5 серпня 2020 року № 695, передбачено розширення площі ПЗФ до 15 % від загальної території країни у 2027 році [1].

Цей показник є дуже важливим екологічним і соціальним індикатором, підвищення якого сприяє підтриманню екологічного балансу екосистем та екологічній стабільності територій. Так, Конвенцією про охорону біологічного різноманіття, сторонами якої є 196 країни світу, серед яких і Україна, поставлено завдання створити систему природоохоронних територій на площі 17 % суходолу та 10 % морських акваторій [1].

Постановка проблеми. Для території Полтавської області встановлені особливості просторового розподілу категорій об'єктів земель природно-заповідного фонду до та після проведення адміністративно-територіальної реформи. Отримані результати щодо динаміки та розташування об'єктів ПЗФ будуть слугувати для подальших управлінських рішень з метою резервування та розширення цієї категорії земель. Використані методи дослідження – аналітично-діагностичний, порівняльний, експедиційний (польовий) та картографічний.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналізу земель природно-заповідного фонду областей України присвячені праці багатьох учених. Більшість робіт орієнтовані на місцезнаходження і репрезентативність об'єктів ПЗФ. Зокрема, для території Полтавської області приділяли увагу створенню та розширенню наявних об'єктів ПЗФ. У монографії [2] охарактеризовано об'єкти ПЗФ загальнодержавного значення Полтавської області.

У монографії [3] викладено науково-організаційні засади розбудови регіональної екомережі, результати аналізу сучасного стану природно-заповідної мережі регіону.

Авторами здійснено аналіз щодо створення РЛП «Гадяцький» [4]. Також проаналізовано сучасного стану РЛП «Гадяцький» В. В. Мовчаном у статті [5] і розроблено рекомендації щодо оптимізації цього об'єкта.

Н. О. Смоляр надає характеристику для створення нових об'єктів ПЗФ Полтавської області, заказник «Глибока Долина» [6], а також Н. О. Смоляр і О. Р. Ханнанова [7] характеризують наявний ландшафтний заказник місцевого значення «Весело-Мирське», який увійшов до території РЛП «Гадяцький».

У статті [8] Т. В. Сахнюк, А. О. Корнус здійснили кількісну і якісну оцінку елементів заповідних територій, а також просторового розміщення мережі ПЗФ Лохвицького району Полтавської області.

С. М. Панченко у статті [9] здійснив опис флори та рослинності території проєктованого НПП у Лохвицькому районі Полтавської області.

Досвід геоінформаційного картографування земель природно-заповідного фонду розглянутий у роботі авторів Є. Бондаренко і М. Кирилюк [10]. Автори розглянули методологічні особливості картографування природно-заповідного фонду України як інструментів створення тематичної інтерактивної карти зазначених об'єктів у Полтавській області. Її визначено як сучасний картографічний сервіс, що є результатом роботи та інноваційним і дієвим засобом різноманітного прикладного застосування, зокрема моніторингу стану природно-заповідних територій та управління земельними ресурсами регіону загалом.

Е. Бондаренко, М. Кирилюк у статті [11] розглянули питання проєктування бази даних об'єктів природно-заповідного фонду України (ПЗФУ) в Полтавській області, що стало інформаційною основою для укладання відповідної інтерактивної карти – електронної картографічної моделі, яка характеризується режимом двосторонньої діалогової взаємодії користувача та програмно-технічного забезпечення її функціонування, представляючи собою візуальну інформаційну систему.

Л. М. Тимошенко [12] акцентував увагу на зелених насадженнях міст і прилеглих до них лісових масивів, які входять до складу буферних зон на перехресті регіональних та національних екокоридорів як територій, перспективних для розширення природно-заповідного фонду Полтавської області.

У статті Удовиченко В. В. [13] визначили сучасну структуру природно-заповідного фонду (ПЗФ) території Лівобережної України як важливої основи розбудови екомережі регіону на основі збору, верифікації й аналізу даних про просторову структуру його об'єктів різного статусу шляхом застосування ГІС-паketу MapInfo Professional 10.0.1.

Автори Н. Гальченко, В. Ільченко, О. Мудрак, Г. Мудрак [14] для території Центрального Лісостепу (Вінницька, Черкаська та Полтавська області) здійснили аналіз структури земель природно-заповідного фонду.

І. В. Литовченко, М. М. Логвин у статті [15] розглянули, що розвиток екотуризму в світі тісно пов'язаний із формуванням системи природно-заповідних територій – природних резерватів, національних парків, пам'ятників природи й ін. Проаналізовано об'єкти ПЗФ Полтавської області станом на 2011 рік.

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що попри значущість і вагомість уже здійснених досліджень, проблеми просторового розподілу об'єктів ПЗФ Полтавської області після проведення адміністративно-територіальної реформи вивчена недостатньо та потребує сучасного оновленого аналізу.

Метою досліджень є аналіз динаміки об'єктів природно-заповідного фонду за 1990-2020 роки та їх просторовий розподіл до та після здійснення адміністративно-територіальної реформи Полтавської області.

Виклад основного матеріалу. Згідно зі ст. 43 Земельного кодексу України [16], ч. 1 ст. 7 Закону України «Про природно-заповідний фонд України» [17] та ч. 1 ст. 61 Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища», землі природно-заповідного фонду – це ділянки суші і водного простору з природними комплексами та об'єктами, що мають особливу природоохоронну, екологічну, наукову, естетичну, рекреаційну та іншу цінність, яким відповідно до закону надано статус територій та об'єктів природно-заповідного фонду [18].

Відповідно до ст. 44 Земельного кодексу України, «До складу земель природно-заповідного фонду входять природні території та об'єкти (природні заповідники, національні природні парки, біосферні заповідники, регіональні ландшафтні парки, заказники, пам'ятки природи, заповідні урочища), а також штучно створені об'єкти (ботанічні сади, дендрологічні парки, зоологічні парки, парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва)» [16].

За результатами [1] даних обліку територій та об'єктів природно-заповідного фонду, поданих органами виконавчої влади на місцевому рівні, що забезпечують реалізацію державної політики у сфері охорони навколишнього природного середовища, станом на 01.01.2021 ПЗФ України має в своєму складі 8633 території та об'єктів фактичною площею 4 105 522,247 га та 402 500,0 га в межах акваторії Чорного моря. Відношення фактичної площі природно-заповідного фонду до площі держави («показник заповідності») становить 6,8 %.

Більше половини (62,7 %) площі ПЗФ України займають території та об'єкти загальнодержавного значення. Серед них 19 природних і 5 біосферних заповідників, 53 національні природні парки, 328 заказників, 136 пам'яток природи, 18 ботанічних садів, 20 дендрологічних та 7 зоологічних парків, 90 парків-пам'яток садово-паркового мистецтва. Загальна площа територій природно-заповідного фонду загальнодержавного значення становить 2 977 006,19 га, місцевого – 1 910 517,58 га [1].

Полтавська область розташована в центральній частині України в лісостеповій зоні з помірно-континентальним кліматом. Площа області становить 28,75 тис. км², або 4,6 % площі України.

Здійснений аналіз динаміки земель природно-заповідного фонду 1990-2020 роки. Станом на 01.01.2021 ПЗФ Полтавської області налічує 393 одиниці територій та об'єктів загальною площею 142 789,7562 га, що складає 4,96 % від загальної площі області [19]. Результати динаміки земель ПЗФ області наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Динаміка за кількістю об'єктів ПЗФ

Рік	НПП	РЛП	ППСПМ	ДП	БС	ЗУ	ПП	ЗК	Усього
1990	-	-	16	1	-	10	80	45	152
1995	-	1	17	1	-	49	113	147	328
2000	-	-	18	1	-	51	114	155	339
2010	1	3	18	1	1	47	122	170	363
2015	2	4	18	2	1	48	135	176	386
2017	2	5	18	3	1	48	135	176	388
2018	2	5	17	3	1	48	135	178	389
2019	2	5	17	3	1	48	137	178	391
2020	2	5	17	3	1	48	138	179	393

Джерело: розроблено авторами.

Заказники, пам'ятки природи, ботанічні сади, дендрологічні парки, зоологічні парки та парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва залежно від їх екологічної та наукової, історико-культурної цінності можуть бути загальнодержавного або місцевого значення. Інформація систематизована у таблиці 2.

Таблиця 2 – Кадастр земель природно-заповідного фонду області станом на 01.01.2021 р.

№ з/п	Найменування категорії	Загальнодержавного значення		Місцевого значення	
		кількість	площа, га	кількість	площа, га
1	Національні природні парки	2	22 792,62	-	-
2	Регіональні ландшафтні парки	-	-	5	53 056,45
3	Заказники – усього, у т. ч.	20	41 226,9	159	38 492,3048
3.1	ландшафтні	9	32 669,7	53	19 516,4248
3.2	ботанічні	1	640,0	38	5213,34
3.3	загальнозоологічні	1	785,0	7	1614,2
3.4	орнітологічні	2	589,2	2	101,5
3.5	гідрологічні	7	6543,0	52	9505,84
3.6	лісові	-	-	3	2373,7
3.7	ентомологічні	-	-	4	167,3
4	Пам'ятки природи – усього, у т. ч.	1	145,0	137	1739,0249
4.1	ботанічні	1	145,0	110	1568,0149
4.2	комплексні	-	-	13	115,34
4.3	зоологічні	-	-	2	7,42
4.4	гідрологічні	-	-	3	2,4
4.5	геологічні	-	-	9	45,85
5	Заповідні урочища	-	-	48	7116,2
6	Ботанічні сади	1	18,0	-	-
7	Дендрологічні парки	2	20,9	1	7,6365
8	Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва	4	442,5	13	179,64
	Разом	30	64 645,92	363	100 591,2562
	Фактична площа ПЗФ (сумарна площа територій та об'єктів ПЗФ без урахування площі тих об'єктів ПЗФ, що входять до складу територій інших об'єктів ПЗФ)	30	50 958,62	363	91 831,1362

Джерело: [19].

На території Полтавської області є об'єкти ПЗФ: національний природний парк (НПП), регіональний ландшафтний парк (РЛП), дендропарк (ДП), ботанічний сад (БС), заповідне урочище (ЗУ), заказник (ЗК), пам'ятка природи (ПП), парк пам'ятка садово-паркового мистецтва (ППСПМ).

Площа природно-заповідного фонду області загальнодержавного значення – 50 958,62 га, або 1,77 % від загальної площі області, а відповідно місцевого значення 91 831,1362 га, або 3,19 %.

Найбільшу кількість серед об'єктів ПЗФ області мають заказники (179) і займають площу 55,8 % від ПЗФ області.

Для аналізу просторового розподілу земель ПЗФ і порівняння показників заповідності області проводимо аналіз земель ПЗФ у розрізі адміністративних районів, до та після адміністративно-територіальної реформи. До проведення адміністративно-територіальної реформи на території області було 25 районів, а після 4 райони: Полтавський (Полтавський, Решетилівський, Новосанжарський, Кобеляцький, Машівський, Карлівський, Чутівський, Котелевський, Зіньківський, Диканський), Кременчуцький (Кременчуцький,

Глобинський, Семенівський, Козельщинський), Миргородський (Миргородський, Лохвицький, Гадяцький, Шишацький, Великобагачанський), Лубенський (Лубенський, Чорнухінський, Пирятинський, Оржицький, Хорольський, Гребінківський).

Таблиця 3 – Просторовий розподіл об'єктів ПЗФ (кількість/площа)

Найменування категорії	Полтавський район	Кременчуцький район	Миргородський район	Лубенський район
Національні природні парки	-/-	1/6330,2	-/-	2/16210,62
Регіональні ландшафтні парки	2/35145,0	2/5108,15	1/12803,3	-/-
Заказники – усього, у т. ч.	70/20816,68	32/35675,6	33/11629,0	41/10226,4
ландшафтні	24/10851,9	13/30550,8	14/6402,3	7/3078,7
ботанічні	19/3015,64	4/367,6	13/2204,4	4/200,5
загальнозоологічні	6/1595,2	-/-	1/55,0	1/746,0
орнітологічні	3/551,5	1/139,20	-/-	-/-
гідрологічні	16/2547,54	14/4618,0	4/2872,5	25/6009,9
лісові	1/2243,0	-/-	1/94,8	1/35,9
ентомологічні	1/11,9	-/-	-/-	3/155,4
Пам'ятки природи – усього, у т. ч.	52/287,97	11/46,46	36/303,47	37/1240,35
ботанічні	47/248,57	6/31,91	28/266,05	28/1161,53
комплексні	3/38,7	1/7,0	3/20,32	6/48,5
зоологічні	-/-	-/-	-/-	2/7,42
гідрологічні	1/0,2	-/-	2/2,2	-/-
геологічні	1/0,50	4/7,55	3/14,9	1/22,9
Заповідні урочища	8/1120,6	3/296,6	17/2830,0	20/2868,8
Ботанічні сади	-/-	-/-	-/-	1/18,0
Дендрологічні парки	-/-	1/8,90	-/-	1/7,6365
Парки-пам'ятки садово-паркового мистецтва	7/393,55	2/52,19	1/77,0	4/111,4

Джерело: розроблено авторами.

До проведення адміністративно-територіальної реформи у восьми адміністративних районах Полтавщини (32,0 %) у функціональній структурі ПЗФ переважає поєднання двох і трьох заповідних категорій із одинадцяти наявних в Україні та восьми наявних на території області. Ще чотири райони (16,0 %) мають поєднання чотирьох заповідних категорій. У п'яти адміністративних районах області (20,0 %) функціональна структура ПЗФ представлена поєднанням п'яти заповідних категорій. Після проведення адміністративно-територіальної реформи два райони мають по п'ять і два райони мають по сім заповідних категорій.

Адміністративні райони області за кількістю заповідних об'єктів мають найпоширенішу типологічну групу, яку формують райони з кількістю заповідних об'єктів в межах 11-20 (14 адміністративних районів). Наявність семи адміністративних районів із кількістю об'єктів ПЗФ менше десяти вказує на недостатність вивченість території перспективних для заповідання. Чотири райони мають найбільшу кількість об'єктів – це Лубенський, Хорольський, Полтавський, Гадяцький райони з відповідними показниками – 21, 23, 43, 47 одиниць.

Для наочного зображення розподілу відсотку заповідності для території Полтавської області нами побудовані тематичні карти просторового розподілу об'єктів ПЗФ. На рис. 1 представлено розподіл за відсотком заповідності для Полтавської області до проведення адміністративно-територіальної реформи, а на рис. 2 відсоток заповідності після проведення реформи.

Розраховано індекс інсуляризованості невеликих за площею ПЗФ, які не виконують своїх функцій, що свідчить про його середню сформованість. Причому для території Кобеляцького району індекс інсуляризованості становить 0 – це свідчить, що на території району відсутні об'єкти з площею менше за 50 га.

При чому для території Гребінківського і Полтавського районів індекс становить відповідно 0,79 і 0,60, що свідчить територія складається з найдрібніших ділянок і не має стійкості і стабільності.

Таблиця 4 – Розрахунок індексу інсуляризованості

Загальна площа, га	Території ПЗФ до 50 га		Території ПЗФ понад 50 га		Загальна к-сть об'єктів	Індекс інсуляризованості
	площа, га	к-сть	площа, га	к-сть		
142 789,7562	2500,8014	308	140 288,9548	85	393	0,25

Джерело: розроблено авторами.

Здійснили розрахунок щільності об'єктів ПЗФ на території області становить $R_{щ} = 393/142789,7562 = 0,27$ об/100км².

Висновки. У роботі вперше розглянуто динаміку об'єктів природно-заповідного фонду за 1990-2020 роки та їх просторовий розподіл до та після здійснення адміністративно-територіальної реформи Полтавської області. Динаміка зміни чисельності об'єктів та територій ПЗФ області, а також їхньої площі свідчать про зростання кількості і площі об'єктів за 1990-2020 роки в 3,8 раза.

У ПЗФ регіону є певні диспропорції і проблеми природокористування. Зокрема, дуже нерівномірною є заповідність адміністративних районів, відмінності між якими сягають десятки разів. Хоча після проведення адміністративно-територіальної реформи відсоток заповідності для нових районів значно збільшився, але усередині району відсоток заповідності у територіальних громадах залишився на рівні до реформи.

Представлені дані засвідчують про низький рівень функціональної структурованості мережі територій та об'єктів ПЗФ Полтавської області на рівні адміністративних районів.

Тому варто продовжувати дослідження природних територій і виявлення цінних для подальшого заповідання у територіальних громадах області. При цьому, якщо є можливість, об'єднувати ці території і створювати більш значущі для охорони (природні заповідники, національні природні парки й регіональні ландшафтні парки).

Список використаних джерел

1. Аналіз площ природно-заповідного фонду України в розрізі адміністративно-територіальних одиниць за 2020 рік. Інформаційно-аналітичні матеріали. – К., 2020. – 87 с.
2. Еталони природи Полтавщини. Розповіді про заповідні території / О. М. Байрак, М. І. Прокурня, Н. О. Стецюк та ін. – Полтава : Верстка, 2003. – 212 с.
3. Регіональна екомережа Полтавщини / під заг. ред. О. М. Байрак. – Полтава : Верстка, 2010. – 204 с.
4. Ханнанова О. Р. Обґрунтування доцільності створення РЛП «Гадяцький» в Полтавській області / О. Р. Ханнанова, Н. О. Стецюк // Освіта, наука, релігія на захисті довкілля : матер. Всеукраїнської студентської наук.-практ. конференції. – К. : Всеукраїнська екологічна ліга, 2008. – С. 56–59.
5. Мовчан В. В. Регіональний ландшафтний парк «Гадяцький»: структура та шляхи оптимізації / В. В. Мовчан // Наукові записки Сумського державного педагогічного університету ім. А. С. Макаренка. Географічні науки. – Суми : СумДПУ імені А. С. Макаренка, 2013. – Вип. 4. – С. 57–63.
6. Смоляр Н. О. Фітосозологічна характеристика проектного заказника «Глибока Долина» у Гадяцькому районі (Полтавська область, Україна) / Н. О. Смоляр, О. Р. Ханнанова // Вісник проблем біології і медицини. – 2016. – Вип. 1, т. 2 (127). – С. 48–53.
7. Смоляр Н. О. Ландшафтний заказник «Весело-Мирське» як осередок лучно-степової рослинності РЛП «Гадяцький» (Полтавська область) / Н. О. Смоляр, О. Р. Ханнанова // Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України : матеріали Всеукр. наук.-практ. конф. – Полтава, 2013. – С. 108–111.

8. Сахнюк Т. В. Сучасний стан системи природно-заповідного фонду Лохвицького району Полтавської області / Т. В. Сахнюк, А. О. Корнус // Наукові записки СумДПУ ім. А. С. Макаренка. Географічні науки. – 2018. – Вип. 9. – С. 63–69.

9. Панченко С. М. До створення національного природного парку у Лохвицькому районі Полтавської області / С. М. Панченко // Сучасні фітосозологічні дослідження в Україні: зб. статей з нагоди вшанування пам'яті видатного фітосозолога, д.б.н., проф. Т. Л. Андрієнко-Малюк (1938–2016 рр.). – К. : Талком, 2017. – С. 70–76.

10. Bondarenko E. Nature reserve fund of Ukraine objects in Poltava oblast database design: information and software / E. Bondarenko, M. Kyryliuk // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography. – 2017. – Vol. 3–4 (68–69). – Pp. 118–122.

11. Бондаренко Є. Методологічні особливості картографування природно-заповідного фонду України засобами інтерактивних карт (на прикладі Полтавської області) / Є. Бондаренко, М. Кирилюк // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – 2020. – Вип. 31. – С. 6–14.

12. Тимошенко Л. М. Сучасний стан та перспективи створення нових об'єктів природно-заповідного фонду Полтавської області / Л. М. Тимошенко // Збалансоване природокористування. – 2018. – № 1. – С. 112–118.

13. Удовиченко В. В. Природно-заповідний фонд території Лівобережної України як основа розбудови екомережі регіону / В. В. Удовиченко // Український географічний журнал. – 2017. – № 1. – С. 38–47.

14. The Structuring of the Lands Nature Reserve Fund Central Forest-Steppe of Ukraine / N. Halchenko, V. Ilchenko, O. Mudrak, G. Mudrak // International Journal of Engineering & Technology. – 2018. – Vol. 7(4.8). – Pp. 549–553.

15. Литовченко І. В. Природно-заповідні території як об'єкти екологічного туризму / І. В. Литовченко, М. М. Логвин // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2012. – № 1 (52). – С. 60–65.

16. Земельний кодекс України [Електронний ресурс] : від 25 жовтня 2001 р. № 2768-III. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.

17. Про природно-заповідний фонд України [Електронний ресурс] : Закон України від 16 червня 1992 р. № 2456-XII. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12/ed20170903#Text>.

18. Про охорону навколишнього природного середовища [Електронний ресурс] : Закон України від 25 червня 1991 р. № 1264-XII. – Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.

19. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Полтавській області у 2020 році. – Полтава, 2021. – 178 с.

References

1. Analiz ploshch pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy v rozrizi administratyvno-terytorialnykh odynyts za 2020 rik. Informatsiino-analitychni materialy [Analysis of the area of the nature reserve fund of Ukraine by administrative-territorial units for 2020. Informational and analytical materials]. (2020).

2. Bairak, O.M., Bairak, O.M., Proskurnia, M.I., Stetsiuk, N.O. et al. (2003). *Etalony pryrody Poltavshchyny. Rozpovidy pro zapovidni terytorii* [Standards of the nature of Poltava region. Stories about protected territories]. Verstka.

3. Bairak, O.M. (Ed.). (2010). *Rehionalna ekomerezha Poltavshchyny* [Regional eco-network of Poltava region]. Verstka.

4. Khannanova, O.R., & Stetsiuk, N.O. (2008). Obgruntuvannia dotsilnosti stvorennia RLP «Hadiatskyi» v Poltavskii oblasti [Justification of the expediency of the creation of the "Hadyatskyi" RLP in the Poltava region]. *Osvita, nauka, relihii na zakhysti dovkillia : M-ly Vseukrainskoi studentskoi nauk.-prakt. konferentsii – Education, science, religion in the protection of the environment: mater. All-Ukrainian Student Science-Pract. conferences* (pp. 56–59). Vseukrainska ekolohichna liha.

5. Movchan, V.V. (2013). Rehionalnyi landshaftnyi park «Hadiatskyi»: struktura ta shliakhy optymizatsii [Regional landscape park “Hadyatskyi”: structure and ways of optimization]. *Naukovi zapysky Sumskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu im. A.S. Makarenka. Heohrafichni nauky. – Scientific notes of the Sumy State Pedagogical University named after A. S. Makarenko. Geographical sciences*, 4, 57–63.

6. Smoliar, N.O., & Khannanova, O.R. (2016). Fitosozologichna kharakterystyka proektovanoho zakaznyka «Hlyboka Dolyna» u Hadiatskomu raioni (Poltavska oblast, Ukraina) [Phytosozological characteristics of the planned reserve “Glyboka Dolyna” in Hadiatsky district (Poltava region, Ukraine)]. *Visnyk problem biologii i medytsyny – Herald of problems of biology and medicine*, 1(2(127)), 48–53.
7. Smoliar, N.O., & Khannanova, O.R. (2013). Landshaftnyi zakaznyk «Veselo-Myrske» yak oseredok luchno-stepovoi roslynnosti RLP «Hadiatskyi» (Poltavska oblast) [Landscape reserve "Veselo-Myrske" as a center of meadow-steppe vegetation of the “Hadyatsky” RLP (Poltava region)]. *Problemy vidtvorennia ta okhorony bioriznomanittia Ukrainy: materialy Vseukr. nauk.- prakt. konf. – Problems of reproduction and protection of biodiversity of Ukraine: materials All-Ukrainian science - practice conf.* (pp. 108-111).
8. Sakhniuk T.V., & Kornus A.O. (2018). Suchasnyi stan systemy pryrodno-zapovidnoho fondu Lokhvytskoho raionu Poltavskoi oblasti [The current state of the natural reserve fund system of the Lokhvytsky district of the Poltava region]. *Naukovi zapysky SumDPU im. A. S. Makarenko. Heohrafichni nauky – Scientific notes of the State State University named after A. S. Makarenko. Geographical sciences*, 9, 63–69.
9. Panchenko, S.M. (2017). Do stvorennia natsionalnogo pryrodnoho parku u Lokhvytskomu raioni Poltavskoi oblasti [Towards the creation of a national nature park in Lohvytskyi district of Poltava region]. *Suchasni fitosozologichni doslidzhennia v Ukraini: zb. statei z nahody vshanuvannia pamiati vydatnogo fitosozologa, d.b.n., prof. T.L. Andriienko-Maliuk (1938–2016 rr.) – Modern phytosozological research in Ukraine: coll. articles on the occasion of honoring the memory of the outstanding phytosogologist, PhD, prof. T. L. Andrienko-Malyuk (1938–2016)* (pp. 70–76). Talkom.
10. Bondarenko, E., & Kyryliuk, M. (2017). Nature reserve fund of Ukraine objects in Poltava oblast database design: information and software. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, Geography*, 3–4(68–69), 118–122.
11. Bondarenko, Ye., & Kyryliuk, M. (2020). Metodologichni osoblyvosti kartohrafuvannia pryrodno-zapovidnoho fondu Ukrainy zasobamy interaktyvnykh kart (na prykladi Poltavskoi oblasti) [Methodological features of mapping the natural reserve fund of Ukraine by means of interactive maps (on the example of Poltava region)]. *Problemy bezpererвної heohrafichnoi osvity i kartohrafii – Problems of continuous geographical education and cartography*, 31, 6–14.
12. Tymoshenko, L.M. (2018). Suchasnyi stan ta perspektyvy stvorennia novykh ob'ektiv pryrodno-zapovidnoho fondu Poltavskoi oblasti [Current state and prospects for the creation of new objects of the nature reserve fund of the Poltava region]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced environmental management*, (1), 112–118.
13. Udovychenko, V.V. (2017). Pryrodno-zapovidnyi fond terytorii Livoberezhnoi Ukrainy yak osnova rozbudovy ekomerezhi rehionu [Nature reserve fund of the territory of the Left Bank of Ukraine as a basis for the development of the eco-network of the region]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal – Ukrainian Geographical Journal*, (1), 38–47.
14. Halchenko, N., Ilchenko, V., Mudrak, O., Mudrak, G. (2018). The Structuring of the Lands Nature Reserve Fund Central Forest-Steppe of Ukraine. *International Journal of Engineering & Technology*, 7(4.8). 549–553.
15. Lytovchenko, I.V., & Lohvyn M.M. (2012). Pryrodno-zapovidni terytorii yak ob'ekty ekolohichnogo turyzmu [Nature reserves as objects of ecological tourism]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific bulletin of the Poltava University of Economics and Trade*, (1(52)), 60–65.
16. Zemelnyi kodeks Ukrainy [The Land Code of Ukraine], Code of Ukraine № 2768-III (on October 25, 2001). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
17. Pro pryrodno-zapovidnyi fond Ukrainy [On Nature Reserve Fund of Ukraine], Law of Ukraine № 2456-XII (on June 16, 1992). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2456-12/ed20170903#Text>.
18. Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha [On Environmental Protection], Law of Ukraine № 1264-XII (on June 25, 1991). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
19. Rehionalna dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Poltavskii oblasti u 2020 rotsi [Regional report on the state of the natural environment in the Poltava region in 2020]. (2021).
Отримано 27.08.2022

UDC 911,9:502 (477,52)

Nadiia Halchenko¹, Olena Klyuka², Valentyn Kozar³, Volodymyr Bakharev⁴

¹PhD in Biological Science, Associate Professor, Associate Professor
of Department of Civil safety, Labor protection, Geodesy and Land Management
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)
E-mail: nadingal9@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2659-177X>
Scopus Author ID: [57245296500](https://orcid.org/57245296500)

²PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor
of Department of Civil safety, Labor protection, Geodesy and Land Management
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)
E-mail: klyukalena@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9250-1157>
Scopus Author ID: [57245477900](https://orcid.org/57245477900)

³PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor
of Department of Civil safety, Labor protection, Geodesy and Land Management
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)
E-mail: v.kozar@meta.ua. ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4084-3507>
ResearcherID: [Q-1403-2015](https://orcid.org/Q-1403-2015). Scopus Author ID: [57245385300](https://orcid.org/57245385300)

⁴Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
Educational and Research Institute of Mechanical Engineering, Transport and Natural Sciences, Director
Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Kremenchuk, Ukraine)
E-mail: v.s.baharev@gmail.com. ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9312-654X>
Scopus Author ID: [57195424074](https://orcid.org/57195424074)

DYNAMICS AND SPATIAL DISTRIBUTION OF THE LANDS OF THE NATURE-RESERVE FUND OF THE POLTAVA REGION

The dynamics of the creation of objects of the nature reserve fund for the years 1990-2020 are considered. The modern structure of the lands of the natural reserve fund of the Poltava region by object categories has been determined, which includes 393 units of territories and objects with a total area of 142789.7562 hectares, which is 4.96% of the total area of the region. On the territory of the region there are 8 out of 11 categories of NRF objects. The largest number of objects of the NRF region are nature reserves (179) and occupy an area of 55.8% of NRF of the region.

According to the specified data, the distribution of the spatial location of the territories and objects of the NRF was carried out before and after the implementation of the administrative and territorial reform. The territories of the region's districts were evaluated according to the percentage of protected areas, the insularity index, and the general indicator of the density of the NRF objects in the region's territory. According to the percentage of preservation before the reform, the lowest indicators, i.e. less than 1 %, were noted in Hrebinki and Myrhorod districts, seven districts have a degree of preservation in the range of 1–2 %, and the highest indicators at the European level (15%) in Pyryatinsky and Dykan districts. After the reform, all four districts of the region have a percentage of protected areas in the range of 4-9 %.

The categories of NRF lands on the territory of the region are unevenly distributed and the differences achieve dozens of times. It is necessary to continue researching natural territories and identifying valuable ones for further inheritance in territorial communities of the region. The obtained results of the spatial distribution of NRF lands can be used to make management decisions by territorial communities by creating new or combining existing categories of NRF.

Keywords: nature reserve fund; cadastre; land management and land monitoring.

Fig.: 2. Table: 4. References: 19.

Віталій Головачов¹, Володимир Шипулін²

¹асистент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (Харків, Україна)
E-mail: vitalii.holovachov@kname.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4479-8010>

ResearcherID: [R-3347-2018](https://orcid.org/0000-0003-4479-8010)

²кандидат технічних наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (Харків, Україна)

E-mail: volodimir.shipulin@kname.edu.ua

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ РОЗРОБКИ
БАГАТОЦІЛЬОВОГО КАДАСТРУ**

Узагальнюючи існуючі теоретико-методичні положення, запропоновано визначення багатоцільового кадастру на регіональному рівні, яке враховує сукупність просторового, містобудівного, інвестиційного й екологічного забезпечення, що дозволило побудувати багаторівневу інформаційну систему для формування кількісної основи управління нерухомістю на регіональному рівні. Здійснено математичне моделювання процесів розробки інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на основі встановлення зв'язків між системними чинниками й інтегральним показником шляхом застосування методу кореляційно-регресійного аналізу.

Ключові слова: багатоцільовий кадастр; використання земель; просторові; містобудівні; інвестиційні; екологічні чинники; математичне моделювання; інформаційне забезпечення.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 50.

Актуальність теми дослідження. Доведено, що сучасні трансформаційні процеси потребують переосмислення підходів до забезпечення ефективності функціонування регіонів шляхом удосконалення системи управління земельними ресурсами, як основними чинниками їхнього розвитку. При цьому враховується сучасний європейський досвід земельного адміністрування та інформаційного забезпечення формування та використання нерухомості на основі застосування багатоцільового кадастру. Визначена необхідність застосування інструментарію математичного моделювання для формування та використання інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

Постановка проблеми. Трансформаційні процеси, які відбуваються в Україні, пов'язані з поглибленням кризових явищ у сфері економіки, уповільненням основних показників регіонального розвитку, впливом наслідків пандемії COVID-19, військових дій. У таких умовах потребують переосмислення підходів до забезпечення ефективності функціонування регіонів шляхом удосконалення системи управління земельними ресурсами як основними чинниками їхнього розвитку. При цьому враховується сучасний європейський досвід земельного адміністрування та інформаційного забезпечення формування та використання нерухомості на основі застосування багатоцільового кадастру.

Вирішення складного завдання щодо розробки й реалізації інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні запропоновано здійснювати на основі інструментів математичного моделювання. За його допомогою створюється кількісна основа прийняття обґрунтованих рішень щодо здійснення земельних відносин.

Таким чином, тема дослідження є актуальною, а її розробка має своєчасний характер.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для проведення математичного моделювання процесів розробки інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні особливого значення має визначення багатоцільового кадастру. У цьому контексті важлива увага приділяється якості формування просторової інформації з використанням геоінформаційних систем [1-5].

У міжнародній практиці визначено 80 окремих мір якості інформаційного забезпечення кадастрової інформації [6-9].

Для формування кадастрової інформації застосовуються інструменти створення баз даних: Oracle Spatial; IBM DB2; PostgreSQL; Microsoft SQL Server; MySQL; Microsoft Access; LibreOffice; Database.NET; Navicat; DataExpress; dbForge Studio; Paradox Data

Editor; Reportizer; HeidiSQL [10] та використання геоінформаційних програмних комплексів: QGIS; gvSIG; GRASSGIS; ArcGIS; MapInfo; AutoCAD Map; програмні комплекси Веб ГІС, які мають відкритий доступ (OpenStreetMap) та розроблені компаніями Navteq, Google, Яндекс, Waze, що застосовуються для конкретних завдань і орієнтовані на відповідних споживачів електронних продуктів; засоби Веб картографування, які реалізуються через застосування технологій Web ГІС, Silverlight, Web Map Service, Styled Layer Descripto, Web Feature Service, Web Coverage Service, CADE Pro, 3DPaint Brush, SWF2XAML, InkSpace [11-19].

Слід зазначити, що в системі земельних відносин мають геоінформаційні системи, застосування яких спрямовано на землевпорядне проєктування, моніторинг та управління ресурсами та територіями на оперативному, тактичному та стратегічному рівнях [20-24].

У контексті управління земельними відносинами для розробки багатоцільового кадастру деякі фахівці й науковці пропонують застосовувати земельні інформаційні системи [25-30] у вигляді програмних комплексів, що застосовуються для формування, зберігання та використання інформації про стан та реалізацію земельних відносин. Використання земельної інформаційної системи дозволяє підвищити ефективність прийняття рішень, проте вона спрямована на вирішення окремих питань застосування земельно-майнового комплексу, не враховуючи комплексні параметри багатоцільового використання нерухомості.

Формування системи інформаційного забезпечення являє собою комплексний процес, який складається з відповідних підсистем: автоматизована підсистема обліку земель; автоматизована підсистема моніторингу земель; інформаційні підсистеми відомчих кадастрів; інформаційні підсистеми відомчих баз даних [31].

На екологічних аспектах формування інформаційної системи управління земельними відносинами фокусують увагу [32-50].

Система інформаційного забезпечення земельних відносин визначається як база даних щодо стану та використання земельних ресурсів, яка враховує територіальні, правові, економічні, екологічні, природні особливості шляхом оцінки критеріїв та індикаторів. У цьому контексті заслуговує на увагу розробка [30].

Виділення недосліджених частин загальної проблеми. Результати математичного моделювання дозволили сформулювати кількісну основу для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та використання багатоцільового кадастру на регіональному рівні, що надає можливість побудувати прогностичні моделі й встановити тенденції формування та використання нерухомості на регіональному рівні, враховуючи просторове, містобудівне, інвестиційне й екологічне забезпечення.

Метою статті є представлення результатів математичного моделювання процесів формування та використання інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні. Для досягнення поставленої мети виконані наступні завдання:

- розробка напрямів здійснення математичного моделювання;
- визначення інструментарію проведення математичного моделювання процесів формування та використання інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

Виклад основного матеріалу. Математичне моделювання чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні здійснюється відповідно показників, які отримані на основі результатів оцінки узагальнюючих просторових, містобудівних, інвестиційних й екологічних чинників. Крім того, із застосуванням методів математичного моделювання, визначається їхній вплив на інтегральний чинник рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

Математичне моделювання чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні здійснюється на основі запропонованих напрямів:

1. Формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників багатоцільового кадастру на регіональному рівні через призму просторових, містобудівних, інвестиційних й екологічних показників.

2. Створення інформаційно-аналітичного забезпечення інтегрального показника рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні.

3. Визначення впливу чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на відповідний інтегральний показник на регіональному рівні із застосуванням методів математичного моделювання.

4. Розробка математичних моделей впливу чинників на інтегральний показник.

5. Визначення показників достовірності математичних моделей.

6. Інтерпретація отриманих результатів.

Формування інформаційно-аналітичного забезпечення чинників багатоцільового кадастру на регіональному рівні через призму просторових, містобудівних, інвестиційних й екологічних показників й інтегрального показника здійснюється на основі даних отриманих у результаті оцінки.

Визначення впливу чинників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на відповідний інтегральний показник на регіональному рівні із застосуванням методів математичного моделювання, які реалізуються на основі кореляційно-регресійного аналізу.

Для дослідження тісноти зв'язку між інтегральним показником рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні та його складовими – просторовими, містобудівними, екологічними та інвестиційними показниками проведено кореляційно-регресивний аналіз за наступною схемою:

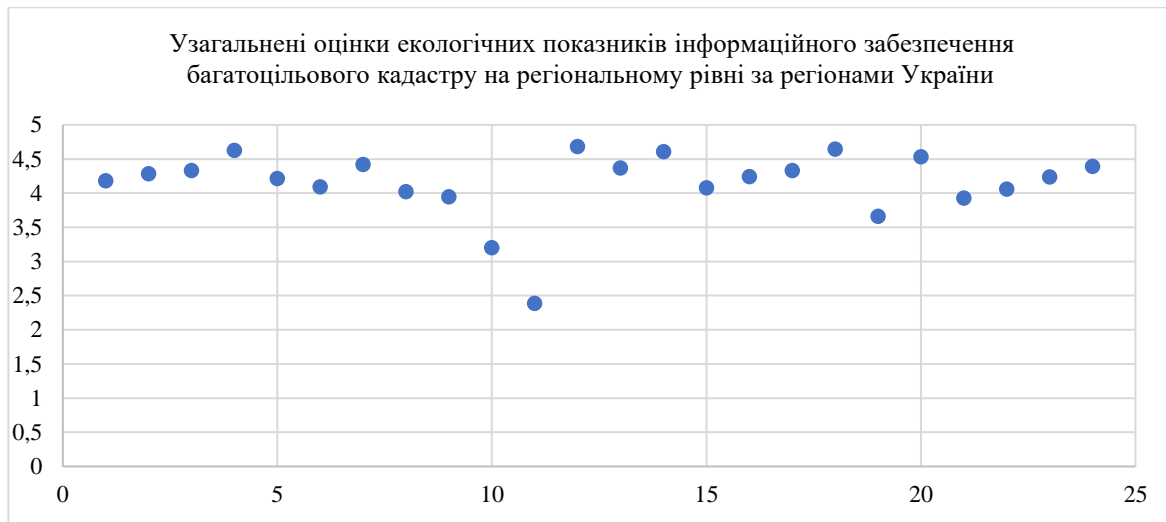
- на підставі обчислених узагальнених оцінок показників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру за регіонами України проводиться первинний аналіз передбачуваної залежності. Наочна ілюстрація наявності залежності інтерпретується за допомогою точкових графіків (рис. 1);

- виключення з вибірки артефактів, за їх наявності;
- проведення регресійного аналізу;
- проведення кореляційного аналізу;
- перевірка відповідності моделі поставленій задачі.

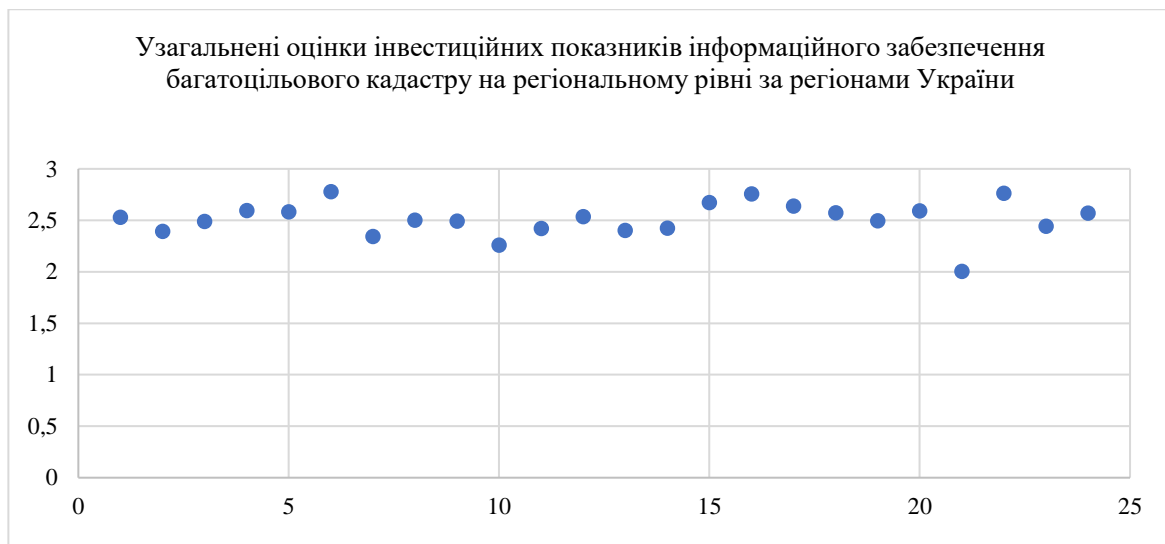
На підставі первинного аналізу можна зробити висновок, що з кореляційно-регресійної моделі необхідно виключити регіони: Кіровоградський, Луганський (рис. 1, б) та Хмельницький (рис. 1, в), оскільки існують дивіаційні відхилення від загальної тенденції змін.



a



б



в

Рис. 1. Первинний аналіз показників рівня інформаційного забезпечення багаточільового кадастру на регіональному рівні, відн. од.

Рівняння лінійної регресії представлено у наступному вигляді:

$$y_x = b_{yx} x + b_0, \tag{1}$$

де b_{xy} та b_0 знаходяться за умови, що сума квадратів відхилень емпіричних групових середніх від значень, обчислених за рівнянням регресії (1) була мінімальною, тобто:

$$\sum_{j=1}^k (y_{x_j} - \bar{y}_j)^2 n_j = \sum_{j=1}^k (b_{xy} x_j + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min \tag{2}$$

З розв'язання задачі на екстремум функції коефіцієнти рівняння (2) можуть бути записані як:

$$b_{yx} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\overline{x^2} - \bar{x}^2}; \tag{3}$$

$$b_0 = \bar{y} - b_{yx} \bar{x}; \tag{4}$$

де

$$\bar{x} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j; \bar{y} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k y_j; \overline{xy} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j y_j; \overline{x^2} = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k x_j^2. \quad (5)$$

Для виявлення зв'язку (та його напрямку) між змінними введемо коефіцієнт кореляції:

$$R_{xy} = \frac{\overline{xy} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\overline{x^2} - \bar{x}^2} \sqrt{\overline{y^2} - \bar{y}^2}}. \quad (6)$$

Знайдений інтегральний показник показників рівня інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру нерухомості на регіональному рівні залежить від чотирьох групових показників, саме тому доречно досліджувати не зв'язок між окремими компонентами, а сукупний вплив групових показників на величину інтегрального показника. Це можливо виконати із застосуванням множинної регресії, яку представимо залежністю:

$$y_x = b_{yx1}x_1 + b_{yx2}x_2 + b_{yx3}x_3 + b_{yx4}x_4 + b_0, \quad (7)$$

де коефіцієнти регресійного рівняння визначаються за методом найменших квадратів:

$$\begin{aligned} & \sum_{j=1}^k (y_{xj} - \bar{y}_j)^2 n_j = \\ & = \sum_{j=1}^k (b_{yx1}x_1 + b_{yx2}x_2 + b_{yx3}x_3 + b_{yx4}x_4 + b_0 - \bar{y}_j)^2 n_j \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (8)$$

Результати числового експерименту із знаходження параметрів множинної регресії для інтегрального показника $I_{bc}^{(3)}$ для всіх чотирьох множин значень вагових коефіцієнтів з визначенням ступеня зв'язку між результуючим показником та його складовими, представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Кореляційно-регресійний аналіз інтегрального показника $I_{bc}^{(3)}$ інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні, відн. од.

Назва показника	Результати оцінки значення показника
1	2
$\{k_{vbc1}\}^{(1)}$	
b_0	-1,17897
b_{yx1}	0
b_{yx2}	0,134215
b_{yx3}	0,137301
b_{yx4}	0,228036
R_{xy}	0,999276
$\{k_{vbc1}\}^{(2)}$	
b_0	-1,50542
b_{yx1}	0
b_{yx2}	0,163488
b_{yx3}	0,193036
b_{yx4}	0,297188
R_{xy}	0,99576

Закінчення табл. 1

1	2
$\{k_{vbc1}\}^{(3)}$	
b_0	-1,3474
b_{yx_1}	0
b_{yx_2}	0,153388
b_{yx_3}	0,156916
b_{yx_4}	0,260614
R_{xy}	0,999276
$\{k_{vbc1}\}^{(4)}$	
b_0	-1,55332
b_{yx_1}	0
b_{yx_2}	0,175289
b_{yx_3}	0,184579
b_{yx_4}	0,300643
R_{xy}	0,999054

Аналіз результатів числового експерименту свідчить про високий зв'язок між компонентами при всіх множинах значень вагових коефіцієнтів, що вказує на достовірність побудованої математичної моделі.

За величиною параметрів регресійної лінії встановлено, що найбільшої зміни інтегральний показник набуває за рахунок зміни інвестиційного показника інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні. Значення компонентів узагальненого просторового показника відносяться до якісних, тому узагальнена величина просторового показника є сталою для всіх регіонів України. Саме тому побудоване рівняння множинної регресії не залежить від зміни просторового показника.

Коефіцієнти b_{yx_i} рівняння множинної регресії показують, на яку величину зміниться інтегральний показник при зміні x_i показника інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні на 1 одиницю. За допомогою рівняння множинної регресії здійснено прогнозування величини інтегрального показника I_{bc} інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні за заданими змінами величини просторових, містобудівних, екологічних та інвестиційних показників.

Зокрема, при збільшенні величини узагальненого містобудівного показника на 0,5, екологічного на 0,8, інвестиційного на 1,0 отримаємо значення інтегрального показника інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні, які представлені в табл. 2. Зауважимо, що за запропонованим алгоритмом проводиться прогнозування за будь-якою зміною групових показників інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру в кожному регіоні окремо. Треба зазначити, що запропоновані значення збільшення системних групових показників визначались на основі рівнів досягнення кадастру нерухомості.

Таблиця 2 – Прогнозні значення інтегрального показника I_{bc} інформаційного забезпечення багатоцільового кадастру на регіональному рівні із застосуванням множин значень вагових коефіцієнтів, відн. од.

Регіони	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(1)}$	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(2)}$	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(3)}$	$I_{bc}, \{k_{vbc1}\}^{(4)}$
1	2	3	4	5
Вінницький	0,567790	0,779206	0,648900	0,757120
Волинський	0,528247	0,731090	0,603708	0,705641
Дніпропетровський	0,578301	0,795091	0,660913	0,771521
Донецький	0,648447	0,890165	0,741081	0,864979

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
Житомирський	0,646131	0,876514	0,738432	0,859760
Закарпатський	0,589697	0,808346	0,673938	0,785951
Запорізький	0,545322	0,754413	0,623223	0,728515
Івано-Франківський	0,594189	0,806718	0,679070	0,790682
Київський	0,517528	0,711230	0,591458	0,690144
Кіровоградський	0,729778	0,989538	0,834030	0,971330
Луганський	0,563640	0,776461	0,644158	0,752318
Львівський	0,640368	0,876503	0,731846	0,853843
Миколаївський	0,624707	0,848707	0,713948	0,831327
Одеський	0,645064	0,879330	0,737214	0,859006
Полтавський	0,665302	0,903945	0,760343	0,885566
Рівненський	0,656448	0,900020	0,750224	0,875474
Сумський	0,468622	0,644288	0,535565	0,624762
Тернопільський	0,574914	0,798116	0,657042	0,768441
Харківський	0,756192	0,999914	0,864217	0,999183
Херсонський	0,609378	0,829663	0,696429	0,811493
Хмельницький	0,653179	0,889434	0,746488	0,869864
Черкаський	0,567790	0,779206	0,648900	0,757120
Чернівецький	0,528247	0,731090	0,603708	0,705641
Чернігівський	0,578301	0,795091	0,660913	0,771521

У результаті прогнозування показників визначено, що для досягнення помірного, достатнього або високого рівня за регіонами України необхідно забезпечити високий рівень повноти, достовірності просторової інформації, можливостей її перманентного застосування, зміни траєкторій щодо зростання містобудівного забезпечення до помірного рівня, екологічного й інвестиційного – до високого рівня.

Висновки. Здійснено математичне моделювання процесів розробки інформаційного забезпечення багатопільового кадастру на основі встановлення зв'язків між системними чинниками й інтегральним показником шляхом застосування методу кореляційно-регресійного аналізу, що надає можливості побудувати прогнозні моделі та встановити тенденції формування та використання нерухомості на регіональному рівні, враховуючи просторове, містобудівне, інвестиційне й екологічне забезпечення.

Узагальнюючи існуючі теоретико-методичні положення, запропоновано визначення багатопільового кадастру на регіональному рівні, яке враховує сукупність просторового, містобудівного, інвестиційного й екологічного забезпечення, що дозволило побудувати багаторівневу інформаційну систему для формування кількісної основи управління нерухомістю на регіональному рівні.

Результати математичного моделювання дозволили сформуванню кількісну основу для розробки науково обґрунтованих рекомендацій щодо формування та використання багатопільового кадастру на регіональному рівні.

Список використаних джерел

1. Карты цифровые топографические. Требования к качеству: ГОСТ Р 51608- 2000. – М. : Изд-во стандартов, 2000. –137 с.
2. Системи управління якістю. Основні положення та словник: ДСТУ ISO 9000-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К. : Держстандарт України, 2001. – 33 с.
3. Карпінський Ю. О. Концептуальні засади оцінювання та забезпечення якості геопросторових даних / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, М. В. Горковчук // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 4. – С. 33-42.
4. Картографічне та геоінформаційне забезпечення Всеукраїнського перепису населення 2013 р. / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. І. Сосса [та ін.] // Вісник геодезії і картографії. – 2012. – № 6. – С. 25-32.

5. Класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000 000 : Затверджений начальником Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України в 1998 р. і погоджений з начальником Центрального топографічного управління Генерального штабу Збройних сил України.
6. Guidelines for Implementing the ISO 19100 Geographic Information Quality Standards in National Mapping and Cadastral Agencies. EuroGeographics Expert Group on Quality / Edited by Antti Jakobsson, Jørgen Giversen. – EuroGeographics, 2007. – 68 p.
7. ISO 19110: 2005(E) Geographic information – Methodology for feature cataloguing. – ISO TC 211, 2005 – 55 p.
8. ISO/DIS 19157: Geographic information – Data quality. – ISO TC 211, 2011.
9. ISO/IEC 13249-3:2002 FDIS. Informational technology – Database languages – SQL Multimedia and Application Packages – Part 3: Spatial, 2nd edition, 2002.
10. Програми для роботи з базами даних [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.soringprepair.com/database-software/#Navicat>.
11. Класифікація картографічних Web-сервісів OGC [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gis-lab.info/qa/ogc-intro.html>.
12. Лященко А. А. Методичні засади створення інтерактивних електронних карт у форматі SVG / А. А. Лященко, А. В. Форосенко // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – № 1. – С 39-46.
13. Неогеографія: смена вех [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml? 2007/12/03/277809_1.
14. Laurence Moroney. Introducing Microsoft Silverlight2 [Electronic resource]. – Microsoft Press, 2008. – Accessed mode: <http://www.microsoft.com/rus/expression/resources/>.
15. Nathan, Adam. Silverlight1.0 unleashed .p.cm.ISBN0-672-33007-5 [Electronic resource]. – Accessed mode: <https://epdf.tips/silverlight-10-unleashed-unleashed-series.html>.
16. Open Geospatial Consortium. URL: <http://www.opengeospatial.org/>.
18. Silverlight Overview [Electronic resource]. – Accessed mode: <http://weblogs.asp.net/scottgu/archive/2008/06/06/silverlight-2-beta2-released.aspx>.
19. Virtual Earth Tile System [Electronic resource]. – Accessed mode: <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb259689.aspx>.
20. Горлачук В. В. Управління земельними ресурсами / В. В. Горлачук, В. Г. В'юн, А. Я. Сохнич. – Миколаїв : Видавництво МДГУ ім. П. Могили, 2002. – 316 с.
21. Суховірський Б. І. Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку / Б. І. Суховірський. – К.: Знання України, 2002. – 210 с.
22. Управління землекористуванням / за ред. В. В. Горлачука. – Миколаїв : Іліон, 2006. – 376 с.
23. Церклевич, А. Про деякі аспекти щодо концепції загальноміської багатофункціональної інформаційної системи / А. Церклевич // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища. – Алушта, 2006. – С. 33- 36.
24. Чайка, О. Г. Використання ГІС технологій у державному та муніципальному управлінні земельними ресурсами України / О. Г. Чайка // ГІС-форум. – К.: КНУБА, 2006. – С. 40-44.
25. Миргород М. М. Роль земельної інформаційної системи в управлінні земельними ресурсами / М. М. Миргород // Збалансоване природокористування. – 2014. – № 4. – С. 111-115.
26. Таратула Р. Б. Формування структури інтегрованої земельно-інформаційної системи / Р. Б. Таратула // Збалансоване природокористування. – 2016. – № 4. – С. 173-177.
27. Семенчук І. М. Розвиток інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами / І. М. Семенчук, О. В. Анисенко // Наукові праці [Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"]. Сер.: Економіка. – 2014. – Т. 243, Вип. 231. – С. 113-117.
28. Таратула Р. Б. Теоретичні засади формування та функціонування земельно-інформаційної системи / Р. Б. Таратула // Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія: Економічні науки. – 2017. – Вип. 24. – Частина 2. – С. 34-38.
29. Бордюжа А. С. Удосконалення організаційного механізму інформаційного забезпечення системи управління сільськогосподарським землекористуванням / А. С. Бордюжа // Збірник наукових праць за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві» (Київ, 1-3 липня 2015 р.). – К. : Інститут агроекології і природокористування НААН – К., 2015. – С. 17-23.

30. Бордюжа А. С. Сучасний стан інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами в системі аграрного виробництва України / А. С. Бордюжа // Збірник наукових праць за матеріалами II Всеукраїнської науково-практичної Інтернет-конференції «Економіка природокористування: стан, проблеми, перспективи» (ЕПК – 2016), м. Ірпінь, 29 березня 2016 р. – Ірпінь : УДФСУ, 2016. – С. 31-40.
31. Таратула Р. Б. Еколого-економічні засади інформаційного забезпечення управління земельними ресурсами : дис. ... д-ра екон. наук за спеціальністю 08.00.06 – економіка природокористування та охорони навколишнього середовища / Р. Б. Таратула; Львівський національний аграрний університет. – Львів, 2019. – 446 с.
32. Богатирчук-Кривко С. К. Еколого-економічний механізм управління земельними ресурсами в сільському господарстві / С. К. Богатирчук-Кривко // Землевпорядний вісник. – 2014. – № 12. – С. 39-42.
33. Богіра М. С. Землекористування в ринкових умовах: еколого-економічний аспект: монографія / М. С. Богіра. – Львів : ЛНАУ, 2008. – 226 с.
34. Бордюжа А. С. Удосконалення формування інформаційної системи екобезпечного сільськогосподарського землекористування / А. С. Бордюжа // Землеустрій, кадастр і моніторинг земель. – 2014. – № 1–2. – С. 120-129.
35. Борщук Є. М. Основи теорії стійкого розвитку еколого- економічних систем: монографія / Є. М. Борщук. – Львів : Растр-7, 2007. – 438 с.
36. Будзяк В. М. Сільськогосподарське землекористування (економіко-екологічні та управлінські аспекти): монографія / В. М. Будзяк. – К. : Оріяни, 2006. – 385 с.
37. Будзяк О. С. Екологобезпечне використання земель: теоретичні та практичні аспекти: монографія / О. С. Будзяк. – К. : Аграр Медіа Груп, 2011. – 326 с.
38. Вегера С. Г. Проблеми інформаційно-аналітичного забезпечення стійкого землекористування: еколого-соціальні орієнтири / С. Г. Вегера // Міжнародний збірник наукових праць. – 2011. – Вип. 3(21), ч. 1. – С. 77-82.
39. Євсюков Т. О. Удосконалення структури екологічної та економічної інформації використання земель / Т. О. Євсюков, О. А. Сохнич // Науковий вісник. Серія: Економічні аспекти екологізації землекористування. – 2005. – Вип. 15.6. – С. 450-457.
40. Кузін Н. В. Екологічний моніторинг деградованих і малопродуктивних земель як основа оцінки рівня деградаційних процесів в сільськогосподарському землекористуванні [Електронний ресурс] / Н. В. Кузін // Ефективна економіка. – 2017. – № 1. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2017_1_38.
41. Купінець Л. Є. Удосконалення інформаційного забезпечення екологобезпечного сільськогосподарського землекористування / Л. Є. Купінець, О. В. Жавнерчик // Економіка АПК. – 2017. – № 2. – С. 61-73.
42. Ступень М. Г. Вдосконалення земельно- кадастрової системи для раціонального використання охорони земель у населених пунктах / М. Г. Ступень, С. О. Малахова // Збірник наукових праць Харківського національного аграрного університету. – 2010. – № 6. – С. 22–27.
43. Ступень М. Г. Генезис еколого-економічної безпеки та її місце в системі національної безпеки / М. Г. Ступень, Р. Б. Таратула // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Ужгород, 28-30 жовтня 2010 р.). – Ужгород : Вид-во УжНУ «Говерла», 2010. – С. 35-37.
44. Ступень М. Г. Моделювання механізму еколого-економічного управління земельними відносинами / М. Г. Ступень, Р. Б. Таратула // Зелена економіка. Зелені технології. Зелені інвестиції : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Одеса, 6-7 жовтня 2011 р.). – Одеса : ІПРЕЕД НАН України, 2011. – С. 258-260.
45. Черевко Г. В. Еколого-економічні та технологічні аспекти раціонального використання земельних ресурсів / Г. В. Черевко // Економіка АПК. – 2008. – № 2. – С. 37-40.
46. Шарапова С. В. Питання інформаційного забезпечення землекористування та охорони земель [Електронний ресурс] / С. В. Шарапова // Теорія і практика правознавства. – 2014. – Вип. 2. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/tipp_2014_2_19.
47. Enemark S. Cadastres, Land Information Systems and Planning – is decentralisation a significant key to sustainable development? / S. Enemark, H. Sevatdal // Presented at the UN-FIG Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development. – Melbourne, Australia, 25-27 October 1999. – 15 p.

48. Eric S. Hall. A Decision Support Tool for Sustainable Land Use, Transportation, Buildings / Eric S. Hall. // Infrastructure, and Materials Management. American Journal of Environmental Engineering. – 2017. – Vol. 7(2). – Pp. 35-46.

49. Hallett S. H. Environmental information systems developments for planning sustainable land use / S. H. Hallett, R. J. A. Jones, C. A. Keay // International Journal of Geographical Information Systems. – 1996. – Vol. 10. – Pp. 47–64.

50. Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources / H. J. Heineke, et al. (eds.) European Soil Bureau Research Report № 4, EUR 17729 EN. 1998. – 546 p.

References

1. Karty tsifrovye topografycheskie. Trebovaniia k kachestvu [Digital topographic maps. Quality requirements]: HOST R 51608- 2000. (2000). Izd-vo standartov.

2. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk [Quality management systems. Basic provisions and vocabulary]: DSTU ISO 9000-2001. (2001). Derzhstandart Ukrainy.

3. Karpinskyi, Yu.O. (2012). Kontseptualni zasady otsiniuvannia ta zabezpechennia yakosti heoprosorovykh danykh [Conceptual principles of evaluation and quality assurance of geospatial data]. *Visnyk heodezii i kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (4), 33–42.

4. Karpinskyi, Yu.O., Liashchenko, A.A., & Sossa, R.I. (2013). Kartohrafichne ta heoinformatsiŭne zabezpechennia Vseukraïnskoho perepysu naseleennia [Cartographic and geoinformation support of the All-Ukrainian population census]. *Visnyk heodezii i kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (6), 25–32.

5. Klasyfikator informatsii, yaka vidobrazhaetsia na topohrafichnykh kartakh masshtabiv 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 00, 1:1000 000 [Classifier of information displayed on topographic maps].

6. Antti Jakobsson, & Jørgen Giversen (Eds.). (2007). *Guidelines for Implementing the ISO 19100 Geographic Information Quality Standards in National Mapping and Cadastral Agencies. EuroGeographics Expert Group on Quality*. EuroGeographics.

7. ISO 19110: 2005(E) Geographic information – Methodology for feature cataloguing. (2005). ISO TC 211.

8. ISO/DIS 19157: Geographic information (2011). Data quality. – ISO TC 211.

9. ISO/IEC 13249-3:2002 FDIS. Informational technology – Database languages – SQL Multimedia and Application Packages. (2002). Part 3: Spatial, 2nd ed.

10. Prohramy dlia roboty z bazamy danykh. [Programs for working with databases]. <https://uk.soringprepair.com/database-software/#Navicat>.

11. Klasyfikatsiia kartohrafichnykh Web-servisiv OGC [Classification of OGC cartographic Web services]. <http://gis-lab.info/qa/ogc-intro.html>.

12. Liashchenko, A.A., & Forosenko, A.V. (2007). Metodichni zasady stvorennia interaktyvnykh elektronnykh kart u formati SVG [Methodical principles of creating interactive electronic maps in SVG format]. *Visnyk heodezii i kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, (1), 39–46.

13. Neogeohrafiia: smena vekh [Neogeography: change of milestones]. http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml?2007/12/03/277809_1.

14. Laurence Moroney. Introducing Microsoft Silverlight2. (2008). Microsoft Press. <http://www.microsoft.com/rus/expression/resources/>.

15. Nathan, Adam. Silverlight1.0 unleashed .p.cm.ISBN0-672-33007-5. <https://epdf.tips/silverlight-10-unleashed-unleashed-series.html>.

16. Open Geospatial Consortium. <http://www.opengeospatial.org/>.

18. Silverlight Overview. URL: <http://weblogs.asp.net/scottgu/archive/2008/06/06/silverlight-2-beta2-released.aspx>.

19. Virtual Earth Tile System. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/bb259689.aspx>.

20. Horlachuk, V.V., Viun, V.H., & Sokhnych A.Ya. (2002). *Upravlinnia zemelnymy resursamy [Management of land resources]*. Vydavnytstvo MDHU im. P. Mohyly.

21. Sukhovirskyi, B.I. (2002). *Heoinformatsiini systemy i tekhnolohii v rehionalnomu rozvytku [Geoinformation systems and technologies in regional development]*. Znannia Ukrainy.

22. Horlachuk, V.V., Harkusha, O.M., Viun, V.H., Melnichenko, V.V., Peschanska, I.M., Demchenko, D.M. (2006). *Upravlinnia zemlekorystuvanniam [Management of land use]*. Ilion.

23. Tserklevych, A. (2006). Pro deiaki aspekty shchodo kontseptsii zahalnomiskoi bahatofunktsionalnoi informatsiinoi systemy [About some aspects of the concept of a city-wide multifunctional information system]. *Heoinformatsiyni monitorynh navkolyshnoho seredovyshcha – Geoinformation monitoring of the environment* (pp. 33-36).

24. Chaika, O.H. (2006). Vykorystannia HIS tekhnolohii u derzhavnomu ta munitsypalnomu upravlinni zemelnymy resursamy Ukrainy [Use of GIS technologies in state and municipal management of land resources of Ukraine]. *HIS-forum – GIS-forum* (pp. 40–44).

25. Myrhorod, M.M. (2014). Rol zemelnoi informatsiynoi systemy v upravlinni zemelnymy resursamy [The role of the land information system in the management of land resources]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, (4), 111–115.

26. Taratula, R.B. (2016). Formuvannia struktury intehrovanoi zemelno-informatsiinoi systemy / R. B. Taratula [Formation of the structure of the integrated land information system]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Balanced nature management*, (4), 173-177.

27. Semenchuk, I.M., & Anysenko, O.V. (2014). Rozvytok informatsiynoho zabezpechennia upravlinnia zemelnymy resursamy [Development of information support for land management]. *Naukovi pratsi Chornomorskoho derzhavnogo universytetu imeni Petra Mohyly kompleksu “Kyievo-Mohylianska akademiia”*. Ser.: *Ekonomika – Scientific works Petro Mohyla Black Sea State University of the Kyiv-Mohyla Academy complex*. Ser.: *Economy*, (243(231)), 113-117.

28. Taratula, R.B. (2017). Teoretychni zasady formuvannia ta funktsionuvannia zemelno-informatsiinoi systemy [Theoretical foundations of the formation and functioning of the land information system]. *Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnogo universytetu. Seriya: Ekonomichni nauky – Scientific Bulletin of the Kherson State University. Series: Economic Sciences*, (24(2)), 34–38.

29. Bordiuzha, A.S. (2015). Udoskonalennia orhanizatsiynoho mekhanizmu informatsiynoho zabezpechennia systemy upravlinnia silskohospodarskym zemlekorystuvanniam [Improvement of the organizational mechanism of information support of the agricultural land use management system]. *Zbirnyk naukovykh prats za materialamy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii “Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane pryrodokorystuvannia v ahropromyslovomu vyrobnytstvi” – Collection of scientific papers based on the materials of the International Scientific and Practical Conference “Ecological Safety and Balanced Nature Use in Agro-Industrial Production”* (pp. 17–23).

30. Bordiuzha, A.S. (2016). Suchasnyi stan informatsiynoho zabezpechennia upravlinnia zemelnymy resursamy v systemi aharnoho vyrobnytstva Ukrainy [The current state of information support for the management of land resources in the agricultural production system of Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats za materialamy II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi Internet-konferentsii “Ekonomika pryrodokorystuvannia: stan, problemy, perspektyvy” – Collection of scientific papers based on the materials of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Internet Conference “Economics of Nature Use: Status, Problems, Prospects”* (pp. 31-40).

31. Taratula, R.B. (2019). *Ekoloho-ekonomichni zasady informatsiynoho zabezpechennia upravlinnia zemelnymy resursamy [Ecological and economic principles of information provision of land resources management]* [Doctor disertation; Lviv National Agrarian University].

32. Bohatyrychuk-Kryvko, S.K. (2014). Ekoloho-ekonomichnyy mekhanizm upravlinnia zemelnymy resursamy v silskomu gospodarstvi [Ecological and economic mechanism of land resource management in agriculture]. *Zemlevporiadnyy visnyk – Zemlevporadnyy visnyk*, (12), 39-42.

33. Bohira, M.S. (2008). *Zemlekorystuvannia v rynkovykh umovakh: ekoloho-ekonomichnyy aspekt [Land use in market conditions: ecological and economic aspect]*. LNAU.

34. Bordiuzha, A.S. (2014). Udoskonalennia formuvannia informatsiinoi systemy ekobezpechnoho silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Improving the formation of the information system of environmentally safe agricultural land use]. *Zemleustrii, kadastr i monitorynh zemel – Land management, cadastre and land monitoring*, (1–2), 120-129.

35. Borshchuk, Ye.M. (2007). *Osnovy teorii stiikoho rozvytku ekoloho- ekonomichnykh system [Basics of the theory of sustainable development of ecological and economic systems]*. Rastr-7.

36. Budziak, V.M. (2006). *Silskohospodarske zemlekorystuvannia (ekonomiko-ekolohichni ta upravlinski aspekty) [Agricultural land use (economic-ecological and management aspects)]*. Oriiany.

37. Budziak, O.S. (2011). *Ekolohobezpechne vykorystannia zemel: teoretychni ta praktychni aspekty [Environmentally safe land use: theoretical and practical aspects]*. Ahrar Media Hrup.

38. Vehera, S.H. (2011). *Problemy informatsiino-analitychnoho zabezpechennia stiikoho zemlekorystuvannia: ekoloho-sotsialni oriientyry [Problems of information and analytical provision of sustainable land use: ecological and social guidelines]*. Mizhnarodnyi zbirnyk naukovykh prats – International collection of scientific papers, (3(21(1))), 77-82.

39. Yevisiukov, T.O., & Sokhnych, O.A. (2005). Udoskonalennia struktury ekolohichnoi ta ekonomichnoi informatsii vykorystannia zemel [Improving the structure of ecological and economic information on land use]. *Naukovyi visnyk. Serii: Ekonomichni aspekty ekolohizatsii zemlekorystuvannia – Scientific Bulletin. Series: Economic aspects of land use greening*, (15(6)), 450–457.

40. Kuzin, N.V. (2017). Ekolohichnyy monitoryng dehradovanykh i malo- produktyvnykh zemel yak osnova otsinky rivnia dehradatsiynykh protsesiv v silskohospodarskomu zemlekorystuvanni [Environmental monitoring of degraded and unproductive lands as a basis for assessing the level of degradation processes in agricultural land use]. *Efektivna ekonomika – Effective economics*, (1). http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2017_1_38.

41. Kupinets, L.Ye., & Zhavnerchuk, O.V. (2017). Udoskonalennia informatsiynoho zabezpechennia ekolohobezpechnoho silskohospodarskoho zemlekorystuvannia [Improvement of information provision of ecologically safe agricultural land use]. *Ekonomika APK – Economics of agriculture*, (2), 61-73.

42. Stupen, M.H., & Malakhova, S.O. (2010). Vdoskonalennia zemelno- kadastrovoi systemy dlia ratsionalnogo vykorystannia okhorony zemel u naselenykh punktakh [Improvement of the land cadastral system for rational use of land protection in settlements]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnogo ahrarnoho universytetu – Collection of scientific papers of the Kharkiv National Agrarian University*, (6), 22–27.

43. Stupen, M.H., & Taratula, R.B. (2010). Henezys ekoloho-ekonomichnoi bezpeky ta ii mistse v systemi natsionalnoi bezpeky [The genesis of environmental and economic security and its place in the national security system]. *Novi tekhnolohii v heodezii, zemlevporiadkuvanni ta pryrodokorystuvanni: materialy V Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – New technologies in geodesy, land management and nature management: materials V International. science and practice conf.* (pp. 35–37). UzhNU «Hoverla».

44. Stupen, M.H., Taratula, R.B. (2011). Modeliuvannia mekhanizmu ekoloho- ekonomichnogo upravlinnia zemelnymy vidnosynamy [Modeling of the mechanism of ecological and economic management of land relations]. *Zelena ekonomika. Zeleni tekhnolohii. Zeleni investysii: materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf. – Green economy. Green technologies. Green investments: materials of the International science and practice conf.* (pp. 258-260). IPREED NAN Ukrainy.

45. Cherevko, H.V. (2008). Ekoloho-ekonomichni ta tekhnolohichni aspekty ratsionalnogo vykorystannia zemelnykh resursiv [Ecological, economic and technological aspects of rational use of land resources]. *Ekonomika APK – Economy of agricultural industry*, (2), 37-40.

46. Sharapova, S.V. (2014). Pytannia informatsiynoho zabezpechennia zemlekorystuvannia ta okhorony zemel [The issue of information provision of land use and land protection]. *Teoriia i praktyka pravoznavstva – Theory and practice of legal science*, (2). http://nbuv.gov.ua/UJRN/tipp_2014_2_19.

47. Enemark, S., & Sevatal, H. (1999). Cadastres, Land Information Systems and Planning – is decentralisation a significant key to sustainable development? *Presented at the UN-FIG Conference on Land Tenure and Cadastral Infrastructures for Sustainable Development*. Melbourne.

48. Eric, S. Hall. A (2017). Decision Support Tool for Sustainable Land Use, Transportation, Buildings, Infrastructure, and Materials Management. *American Journal of Environmental Engineering*, (7(2)), 35–46.

49. Hallett, S.H., Jones, R.J.A., & Keay, C.A. (1996). Environmental information systems developments for planning sustainable land use. *International Journal of Geographical Information Systems*, (10), 47–64.

50. Heineke, H.J. (1998). Land Information Systems: Developments for planning the sustainable use of land resources. European Soil Bureau Research Report. EUR 17729 EN, (4), 546.

Отримано 27.09.2022

Vitalii Holovachov¹, Volodymyr Shypulin²

¹Assistant of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine)
E-mail: vitalii.holovachov@kname.edu.ua, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4479-8010>
ResearcherID: [R-3347-2018](https://orcid.org/R-3347-2018)

²PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Land Administration and Geographic Information Systems
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (Kharkiv, Ukraine)
E-mail: volodimir.shipulin@kname.edu.ua

MATHEMATICAL MODELING OF MULTIPURPOSE CADASTRAL DEVELOPMENT PROCESSES

It has been proven that modern transformational processes require a rethinking of approaches to ensure the efficiency of the functioning of regions by improving the land resources management system, as the main factors of their development. At the same time, the modern European experience of land administration and information provision of the formation and use of real estate based on the application of the multi-purpose cadastre is considered. The need to use mathematical modelling tools for the formation and use of information support of multi-purpose cadastre at the regional level is determined.

The purpose of the study is to present the results of mathematical modelling of the processes of formation and use of information support of the multi-purpose cadastre at the regional level. To achieve the set goal, the following tasks were completed:

- development of mathematical modelling directions;
- determination of the tools for mathematical modelling of the processes of formation and use of information support of the multi-purpose cadastre at the regional level.

Mathematical modelling of the processes of development of the information support of the multi-purpose cadastre was carried out on the basis of establishing relationships between system factors and an integral indicator by applying the method of correlation-regression analysis, which provides the opportunity to build predictive models and establish trends in the formation and use of real estate at the regional level, taking into account spatial, urban planning, investment and environmental support.

Summarizing the existing theoretical and methodological provisions, the definition of a multi-purpose cadastre at the regional level is proposed, which considers the totality of spatial, urban planning, investment and environmental support, which made it possible to build a multi-level information system for the formation of a quantitative basis for real estate management at the regional level.

The results of mathematical modelling made it possible to form a quantitative basis for the development of scientifically based recommendations for the formation and use of a multi-purpose cadastre at the regional level.

Keywords: Multipurpose cadastre; land use; spatial; urban planning; investment; environmental factors; mathematical modelling; information support.

Fig.: 1. Table: 2. References: 50.

**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:

Заступник головного редактора: Сапон Сергій Петрович.

Тел. моб.: (097) 38-44-197

E-mail: tst.technical.sj@gmail.com або s.sapon@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

№ 3(29)

Відповідальний за випуск
Редактор

С. П. Сапон
О. С. Смелова

Підписано до друку 01.11.2022. Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. – 27,2.
Тираж 100 пр. Замовлення № 11/22.

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.