

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

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



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 3(25)***

Чернігів 2021

Друкується за рішенням вченої ради Національного університету «Чернігівська політехніка» (протокол № 9 від 27.09.2021 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 11.07.2019 р. № 975, відповідно до якого журналу надано категорію «Б».

**Технічні науки та технології** : науковий журнал / Національний університет «Чернігівська політехніка». – Чернігів : Т38 НУ «Чернігівська політехніка», 2021. – № 3(25). – 298 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;

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

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

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

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

Новолинцев 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.

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

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

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

Інформаційно-комп'ютерні технології

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

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

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

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

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

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

Мелешко Е. В., доктор технічних наук, доцент, Центральноросійський 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

Вініков 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

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

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

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

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

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

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

Будівництво та геодезія

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

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

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

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

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

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

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



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

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



# ***TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES***

***SCIENTIFIC JOURNAL***

***ISSUE № 3(25)***

Chernihiv 2021

UDC 62:67.05  
DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv Polytechnic National University (protocol № 9 dated 27.09.2021). Scientific journal "Technical sciences and technologies" is included into the list of scientific specialized editions of Ukraine, approved by the Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated July 11, 2019 № 975, according to which magazine is assigned a category «B».

**Technical sciences and technologies** : scientific journal / Chernihiv Polytechnic National University. – Chernihiv : Chernihiv Polytechnic National University, 2021. – №3(25). – 298p.

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 akademii;

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

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

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

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

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

Information and computer technologies

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Power engineering, electrical engineering and electromechanical engineering

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

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

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

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

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

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

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

Construction and geodesy

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

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

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

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

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

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

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



## ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Майборода В., Гаєрушкевич Н., Слободянюк І., Позняк К.</i> Застосування магнітно-абразивного оброблення стоматологічного інструменту багаторазового використання для відновлення його властивостей .....	9
<i>Єрошенко А., Кузельний Я., Морочко В., Винник В.</i> Експериментальне дослідження процесу шліфування циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого круга в режимі затуплення .....	17
<i>Дегтярьов І., Нешта А., Самардак М., Кононович В., Кушніров П., Бага В., Клок Я.</i> Аналіз застосування конструкцій та області контакту штифтових конічних з'єднань з конусністю 1:50 .....	26
<i>Подлесний С., Дорохов М., Єрфорт Ю., Стадник О.</i> Дослідження коливань маятника змінної довжини .....	38
<i>Пасов Г., Сіра Н., Следнікова О., Кологойда А., Мурашкова В.</i> Вивчення рівняння бернуллі із застосуванням інформаційних технологій (анімаційний симулятор) .....	45
<i>Тулупов В., Онищук С.</i> Дослідження технологій поверхневого зміцнення деталей машин .....	55
<i>Янцевич К.</i> Жаростійкість дифузійних покриттів на основі хрому та кремнію нанесених на вуглецеву сталь .....	61
<i>Горностаї О.</i> Еволюція стабільності наночастинок Ag та Cu в дисперсних системах отриманих методом фізичного осадження у вакуумі .....	68
<i>Халіков В., Жерносков А., Шатан О., Муха А.</i> Формування вольт-амперних характеристик джерел живлення зварювальної дуги .....	78
<i>Павленко А., Євдокименко Н., Гаєрлюк Ю.</i> Вплив алюмосилікатних порожнистих мікросфер на фізико-механічні властивості шинних гум .....	85
<i>Hroncová D.</i> Modeling in MSC adams/view as modern approach to mechanism design .....	96
<i>Jánoš R., Fetko D.</i> Design of pneumobil .....	105
<i>Tuleja P., Ščurka M.</i> Retrofit of a pneumatic mechanism model using a vacuum .....	110
<i>Zakucia P., Kelemen M.</i> Educational two wheeled mobile robot .....	117

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Лахно В., Блозва А., Часновський Є., Криворучко О., Десятко А.</i> Аудит інформаційної безпеки на основі застосування нейро-нечіткої системи .....	125
<i>Лахно В., Касаткін Д., Блозва А., Гусєв Б., Осипова Т., Матус Ю.</i> Оптимізація вибору засобів захисту інформації за допомогою генетичного алгоритма .....	138
<i>Терлецький Т., Кайдик О., Пташенчук В.</i> Підвищення ефективності системи відеоспостереження шляхом узгодження світлотехнічних параметрів освітлювачів та відеокамер .....	150
<i>Точилін С.</i> Комплекс віртуальних лабораторних робіт з механіки та молекулярної фізики .....	160

<i>Tigarev V., Babych Yu., Lopakov O., Kosmachevskiy V., Barchanova Yu.</i> Simulate virtual reality service on software sdn under a limited resource 5g mobile terminal .....	164
<i>Гречанинов В.</i> Про концепцію цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони .....	179
<i>Vagas M., Galajdova A.</i> Process monitoring based on rfid technology .....	187
<i>Rákay R.</i> Monitoring of environment parameters based on wireless sensor network .....	193
<i>Ліпська В.</i> Спосіб підвищення ефективності деперсоніфікації баз даних .....	202
<i>Sukop M., Grytsiv M., Krabáč K.</i> Simple speed measurement in sport based on ultrasound .....	213

### РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Замай Ж., Боровик С., Костенко І., Пасов Г., Буяльська Н., Цибуля С.</i> Інформаційні технології при водопідготовці та можливості її автоматизації на прикладі виробництва питної води «Сіверська» .....	220
<i>Денисова Н., Буяльська Н., Моторко О.</i> Дослідження впливу добавок вівсяного борошна та яблучного пюре на технологію виробництва бісквітів .....	229

### РОЗДІЛ IV. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Šarga P., Strnisko P.</i> Proposal of monitoring of the heat exchanger station .....	237
<i>Сабат М., Лусяк В., Шелех Ю., Чечель В.</i> Вплив несинусоїдальності напруги на роботу вузла комплексного навантаження з конденсаторними установками .....	244
<i>Бодунов В., Діхтярук І., Красножон А.</i> Математичне моделювання пікових струмів при включенні світлодіодних джерел світла .....	256

### РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

<i>Мовенко В.</i> Моніторинг екологічного стану річок деснянського басейну .....	265
<i>Терещук О., Крячок С., Беленок В., Мамонтова Л., Бойко О.</i> Пристрій визначення положення вертикалі на безпілотних літальних апаратах, призначених для аерознімання .....	273
<i>Ванчура Р., Смолій К., Серант О., Вітровий А., Ярема Н.</i> Моніторинг частки земель транспорту в земельних торгах .....	288

<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ</b> .....	297
---	-----

## CONTENT

SECTION I. APPLIED MECHANICS, MATERIALS SCIENCE  
AND MACHINE BUILDING

<i>Maiboroda V., Havrushkevych N., Slobodianiuk I., Poznjak K.</i> Using magneto-abrasive machining of reusable dental tools for restoring its properties .....	9
<i>Yeroshenko A., Kuzhelnyi Ya., Morochko V., Vynnyk V.</i> Experimental research of the process of grinding cylindrical surfaces of shafts and support necks of a camshaft by the periphery of an oriented circle in a blunt mode .....	17
<i>Dehtiarov I., Neshta A., Samardak M., Kononovych V., Kushnirov P., Baha V., Klok Ya.</i> Analysis of application of structures and contact area of tapered pins with taper 1:50 .....	26
<i>Podliesnyi S., Dorokhov M., Yerfort Yu., Stadnyk O.</i> Study of oscillations of a pendulum of variable length .....	38
<i>Pasov H., Sira N., Sliednikova O., Kolohoida A., Murashkovska V.</i> Study of the bernulli equation using information technologies (animation simulator) .....	45
<i>Tulupov V., Onyshchuk S.</i> Research of surface reinforcement technologies for machine details .....	55
<i>Iantsevitch C.</i> Heat resistant of diffusion coatings obtained by chrome and silicon on carbon steel.....	61
<i>Gornostai O.</i> Evolution of Ag and Cu nanoparticles stability in dispersed systems obtained by the physical deposition method in vacuum .....	68
<i>Khalikov V., Zhernosekov A., Shatan A., Mukha A.</i> formation of volt-amper characteristics of welding arc power sources .....	78
<i>Pavlenko A., Evdokimenko N., Gavriluk Yu.</i> Influence of aluminosilicate hollow microspheres on properties of tire tires .....	85
<i>Hroncová D.</i> Modeling in MSC adams/view as modern approach to mechanism design .....	96
<i>Jánoš R., Fetko D.</i> Design of pneumobil .....	105
<i>Tuleja P., Ščurka M.</i> Retrofit of a pneumatic mechanism model using a vacuum.....	110
<i>Zakucia P., Kelemen M.</i> Educational two wheeled mobile robot.....	117

## SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Lakhno V., Blozva A., Chasnovskiy Ye., Kryvoruchko O., Desyatko A.</i> information security audit based on the use of a neuro-fuzzy system .....	125
<i>Lakhno V., Kasatkin D., Blozva A., Husiev B., Osypova T., Matus Yu.</i> Optimization of the choice of information protection using genetic algorithm .....	138
<i>Terletskiy T., Kaidyk O., Ptashenchuk V.</i> Improving the efficiency of video surveillance system by harmonizing lighting parameters of lighters and video cameras .....	150
<i>Tochilin S.</i> complex of virtual laboratory works on mechanics and molecular physics.....	160
<i>Tigarev V., Babych Yu., Lopakov O., Kosmachevskiy V., Barchanova Yu.</i> Simulate virtual reality service on software sdn under a limited resource 5g mobile terminal .....	164
<i>Grechaninov V.</i> On the concept of digital transformation of the sphere of national security and defense .....	179
<i>Vagas M., Galajdova A.</i> Process monitoring based on rfid technology .....	187
<i>Rákay R.</i> Monitoring of environment parameters based on wireless sensor network.....	193
<i>Lipska V.</i> The method for increasing the efficiency of database depersonification .....	202
<i>Marek S., Grytsiv M., Krabáč K.</i> Simple speed measurement in sport based on ultrasound.....	213

**SECTION III. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES**

- Zamai Zh., Borovyk S., Kostenko I., Pasov H., Buialska N., Tsybulia S.* Information technologies in water treatment and possibilities of its automation on the example of drinking water production “Siverska” ..... 220
- Denisova N., Buialska N., Buldenko O.* The study of influence of oat flour and applesauce additives on the biscuit production technology ..... 229

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

- Šarga P., Strnisko P.* Proposal of monitoring of the heat exchanger station..... 237
- Sabat M., Lysiak V., Shelekh Yu., Chechel V.* Influence of non-sinusoidal voltage on the work of complex load with capacitor installations..... 244
- Bodunov V., Dihtyaruk I., Krasnozhon A.* Mathematical simulation of peak currents when switching on LeD light sources ..... 256

**SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY**

- Movenko V.* Monitoring of ecological condition of the desna river basin ..... 265
- Tereshchuk O., Kryachok S., Belenok V., Mamontova L., Boiko O.* Device for determining the position of vertical on unmanned aircraft designed for aerial photography ..... 273
- Vanchura R., Smoliy K., Serant O., Vitrovyy A., Yarema N.* Monitoring of the land of transport in land auctions ..... 288

- BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION  
OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES..... 297**



# РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-9-16

УДК 674.022:621.715

**Віктор Майборода<sup>1</sup>, Наталія Гаврушкевич<sup>2</sup>, Іванна Слободянюк<sup>3</sup>, Крістіна Позняк<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри конструювання машин  
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [maiborodavs@gmail.com](mailto:maiborodavs@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6902-6928>

<sup>2</sup>асистент кафедри конструювання машин  
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [gavrushkevichnataliya@gmail.com](mailto:gavrushkevichnataliya@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6229-7458>

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри конструювання машин  
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [ivannavalentinovna@gmail.com](mailto:ivannavalentinovna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0226-2691>

<sup>4</sup>здобувачка вищої освіти  
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (Київ, Україна)  
E-mail: [bu0617s@gmail.com](mailto:bu0617s@gmail.com)

## ЗАСТОСУВАННЯ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ СТОМАТОЛОГІЧНОГО ІНСТРУМЕНТУ БАГАТОРАЗОВОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ЙОГО ВЛАСТИВОСТЕЙ

*На основі аналізу особливостей процесу експлуатації та подальшого циклу оброблення стоматологічних борфрез багаторазового використання представлено обґрунтування можливості застосування на етапі передстерилізаційного очищення методу магнітно-абразивного оброблення поверхонь робочих частин твердосплавних борів кулеподібної форми.*

*Виконано аналіз стану поверхні та параметрів шорсткості робочих поверхонь борфрез до та після магнітно-абразивного оброблення. Надані рекомендації щодо часу оброблення та діапазонів розмірів різальних кромки борів, що забезпечують збільшення термінів експлуатації.*

**Ключові слова:** магнітно-абразивне оброблення; стоматологічний інструмент; твердосплавні борфрези; передстерилізаційне очищення; ширина різальної кромки; шорсткість поверхні.

*Рис.: 4. Бібл.: 8.*

**Актуальність теми дослідження.** Особливості використання стоматологічного інструменту багаторазового використання, такого як борфрези різної форми, свердла й інші, які виготовлені з твердих сплавів і спеціальних інструментальних сталей, полягають у тому, що після кожного їх використання за призначенням інструмент підлягає обробленню згідно [1], а саме: дезінфекції, передстерилізаційному очищенню (далі - ПСО) та стерилізації з метою профілактики внутрішньо-лікарняних інфекцій. Як правило, ПСО здійснюється з метою видалення з виробів білкових, жирових і механічних забруднень, а також залишків лікарських препаратів, дентину, емалі, пломбуєчого матеріалу і виконується після дезінфекції як окремий процес ручним або механізованим способом.

**Постановка проблеми.** При використанні повного циклу ПСО перед подальшою стерилізацією і подальшим використанням за призначенням повинно забезпечуватися максимально повне збереження показників якості інструменту, до яких, крім специфічних, відносять такі показники, як корозійна стійкість, чистота оброблення – шорсткість робочих поверхонь, відсутність виривів, подряпин, корозійних порожнин, забоїн, особливо на різальних кромках, певна величина радіусів їх заокруглення.

Погіршення показників якості робочих поверхонь стоматологічного інструменту після використання і дезінфекції відбувається за рахунок звичайних процесів зношення інструменту при його експлуатації, які активізуються під дією агресивних середовищ живого організму в поєднанні з механічними навантаженнями на робочі поверхні.

При ручному ПСО виконується такі операції: замочування в мийному розчині на 15-60 хвилин, миття за допомогою щітки, обполоскування під проточною водою та дистильованою водою, сушіння гарячим повітрям.

ПСО механізованим способом виконується з використанням мийно-дезінфекційних машин та ультразвукового устаткування.

Треба зазначити, що дезінфекція фізичними методами полягає в кип'ятінні у спеціальних розчинах на основі дистильованої води протягом 15-30 хвилин. Цей вид оброблення має негативні наслідки, особливо для різальних кромки інструментів, які затуплюються та в подальшому можуть піддаватися корозії.

Характерними прикладами утворення дефектів на робочих поверхнях є точкова, пітінгова корозія, яка стимулює зародження в матеріалі різального інструменту корозійних тріщин, виразкових порожнин. Саме ці дефекти можуть бути причиною зменшення строків використання інструменту.

Крім вищезазначеного, відбуваються зміни механічних характеристик поверхневого шару – погіршується шорсткість, знижується поверхнева твердість, формуються залишкові напруження розтягу. Це все в комплексі негативно впливає на умови і строки експлуатації борфрез.

При проведенні очищення стоматологічного інструменту хімічним і термічним методами можливі випадки припікання до робочих поверхонь залишків бруду, який не повністю було видалено на етапі ПСО. Тому актуальним на даний час є на етапі ПСО саме стоматологічних інструментів використання нових, перспективних, високопродуктивних методів, до яких з певною впевненістю можна віднести метод магнітно-абразивного оброблення (МАО).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В опублікованих останнім часом публікаціях можна віднайти позитивні фактори, які свідчать на користь використання методу МАО на етапі ПСО. Зокрема, його висока продуктивність при обробленні виробів складної просторової конфігурації дрібного розміру, виготовлених із важкооброблюваних матеріалів, таких як тверді сплави, інструментальні сталі [2], суттєве зниження шорсткості оброблюваних поверхонь, підвищення поверхневої твердості [3], зростання корозійної стійкості [4], повне видалення небажаних відкладень із робочих поверхонь різального інструменту, розполірування вибоїн і корозійних порожнин [5], можливість часткового загострення різальних кромки.

Додатково треба відзначити, що при МАО результати очищення стоматологічного інструменту на етапі ПСО практично не залежать від кваліфікації оператора, який здійснює цю процедуру.

Зазначені фактори не тільки сприяють подовженню строків експлуатації оброблюваного інструменту, а і знижують вірогідність проявлення небажаних факторів, які можуть мати місце при їхній роботі – додаткова вібрація, надмірне нагрівання зони оброблення тощо.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проте застосування методу МАО і досліджень його впливу на показники якості дрібно розмірного інструменту на теперішній час не є відомими.

Тому **метою роботи** було обґрунтування доцільності застосування методу МАО стоматологічних борфрез у технологічному ланцюгу їх оброблення на стадіях, що передують стерилізації.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом досліджень було вибрано борфрези з кулеподібними робочими головками, виготовленими з твердого сплаву з шістьма різальними кромками. Діаметр робочих частин борів варіювався в діапазоні 1,8-2,1 мм. Досліджували борфрези, які були у використанні, але не втратили свої «робочі» властивості та пройшли один і більше циклів використання за призначенням із подальшою дезінфекцією, ПСО і стерилізацією.

Для визначення впливу методу MAO на зміну шорсткості робочих поверхонь були проаналізовані параметри шорсткості на кожному зубці на п'яти борфрезах після не менш ніж однократного їх використання. Параметри шорсткості були визначені оптичним методом на спеціальному мікроскопі NanoFocus на ділянках розміром  $1,6 \times 1,6$  мм на передній і задній робочих поверхнях з подальшою статистичною обробкою отриманих даних.

До MAO борфрез середньоарифметичне відхилення профілю на визначених вище ділянках складало для задньої поверхні  $S_a^3 = 0,295$  мкм, для передньої –  $S_a^n = 0,361$  мкм, максимальна висота профілю шорсткості на задній поверхні –  $S_z^3 = 2,53$  мкм, на передній поверхні –  $S_z^n = 2,79$  мкм, максимальна висота виступів профілю шорсткості на задній поверхні –  $S_p^3 = 1,7$  мкм, на передній –  $S_p^n = 1,84$  мкм, а максимальні величини глибини западин профілю шорсткості на задній поверхні –  $S_v^3 = 0,86$  мкм, на передній –  $S_v^n = 1,01$  мкм.

Типовий вигляд шорсткуватих передньої і задньої поверхонь стоматологічних борфрез до MAO наведено на рис. 1.

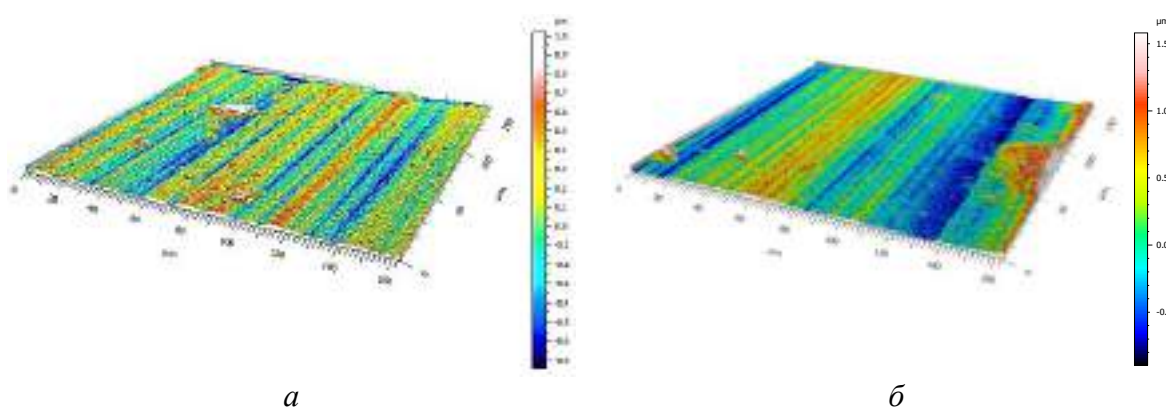


Рис. 1. 3D зображення поверхонь борів до MAO:  
а – задня поверхня; б – передня поверхня

Магнітно-абразивне оброблення борфрез виконували на експериментальному стенді для оброблення деталей складної просторової конфігурації з кільцевою робочою зоною діаметром 200 мм і висотою зони активного оброблення 30 мм [2; 3] з торцевим типом завантаження.

Стенд забезпечує обертання деталей навколо осі кільцевої камери з регульованою частотою від 50 до  $500 \text{ хв}^{-1}$  з одночасним реверсивним обертанням деталей навколо власної осі з частотою, яка змінюється в діапазоні  $10\text{-}800 \text{ хв}^{-1}$ . При цьому забезпечується можливість певного контрольованого базування деталей в робочій зоні стенда, як щодо площини обертання в діапазоні кутів нахилу осі борів  $\rho = 0\text{-}90^\circ$ , так і в площині, дотичної до окружності кільцевої ванни  $\varphi = 0\text{-}60^\circ$ . Величина магнітної індукції в робочому кільцевому зазорі, вільному від магнітно-абразивного порошку, може плавно регулюватися від 0 до  $0,35 \text{ Тл}$ .

В якості магнітно-абразивного інструменту використовували порошок Полімам-Т з розміром частинок  $200/100$  мкм з додаванням алмазної пасті АСМ 24/20.

Особливостями процесу MAO стоматологічних борфрез є той факт, що розміри їх робочих частин досить дрібні і не перевищують 2,5 мм. Установка, що використовувалась при обробленні, не дозволяє отримати високу частоту обертання деталей навколо власної осі. Для забезпечення ефективного процесу MAO виробів необхідним є виконання трьох основних умов [6; 7].

Аналіз умов оброблення борфрез свідчать про те, що саме обертання навколо осі кільцевої ванни є тим рухом, що забезпечує можливість формування достатніх швидкості різання і сил нормального і тангенційного походження, необхідних для здійснення

продуктивного MAO. Обертання борфрез навколо власної осі на установці, яку використовували при дослідженнях, забезпечує лінійну швидкість руху окремих точок борфрез відносно магнітно-абразивного інструменту в 10 і більше разів меншу, ніж у результаті обертання навколо осі кільцевої ванни. Тому обертання деталей навколо власної осі треба розглядати, як рух, що забезпечує умови для забезпечення рівномірного оброблення усіх елементів робочих частин головок борів і практично не впливає зміну шорсткості робочих поверхонь при MAO.

Перевірку зазначеного факту виконували за результатами оброблення борфрез при швидкості обертання навколо власної осі 450 і 700 хв<sup>-1</sup> і швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни 270 хв<sup>-1</sup>. Час оброблення складав 6 хвилин з періодичними замірюваннями параметрів поверхонь. Кут нахилу осі оброблюваного інструменту щодо площини кільцевої ванни складав  $\rho = 40^\circ$ . Встановлено, що за перші три хвилини MAO відбувається активне зниження шорсткості поверхні з  $Ra = 0,21-0,24$  мкм до  $Ra = 0,07-0,09$  мкм. У подальшому шорсткість робочих елементів практично не зменшується. Різниця в показниках шорсткості поверхні при обробленні при швидкості обертання борфрез навколо власної осі 450 хв<sup>-1</sup> і 700 хв<sup>-1</sup> не виявлено.

Ретельний аналіз зміни параметрів шорсткості після MAO, виконаний на мікроскопі NanoFocus на ділянках розміром 1,6×1,6 мм на передній і задній робочих поверхнях борфрез, показав наступні результати: середньоарифметичне відхилення профілю склало для задньої поверхні  $S_a^3 = 0,16$  мкм, для передньої –  $S_a^H = 0,22$  мкм, максимальна висота профілю шорсткості на задній поверхні –  $S_z^3 = 1,7$  мкм, на передній поверхні –  $S_z^H = 2,16$  мкм, максимальна висота виступів профілю шорсткості на задній поверхні  $S_p^3 = 0,92$  мкм, на передній –  $S_p^H = 1,09$  мкм, а максимальні величини глибини западин профілю шорсткості на задній поверхні –  $S_v^3 = 0,53$  мкм, на передній –  $S_v^H = 0,86$  мкм. Типовий вигляд шорсткуватих передньої і задньої поверхонь борфрез після MAO наведено на рис. 2.

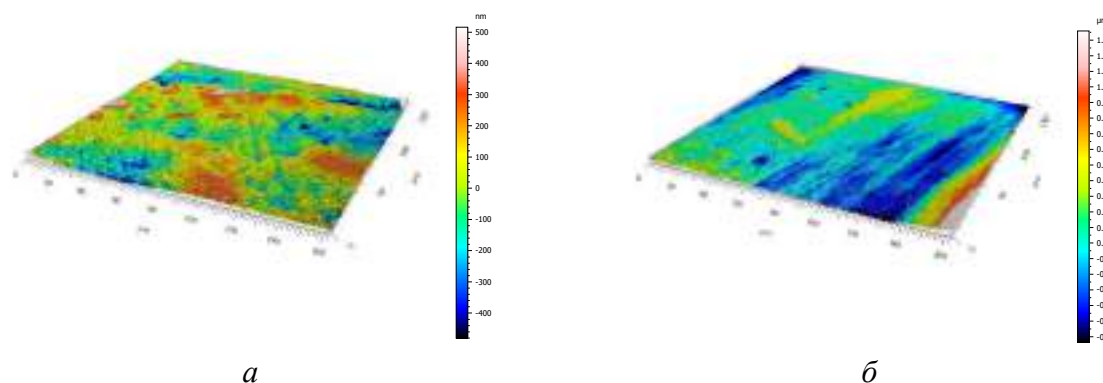


Рис. 2. 3D зображення робочих поверхонь борів після MAO:  
а – задня поверхня; б – передня поверхня

Аналіз отриманих результатів показав, що в процесі MAO стоматологічних твёрдосплавних борфрез відбувається зниження показників шорсткості поверхні в 1,6-1,8 раза. Причому найбільш активне зниження відбувається на рівні мікровиступів, які утворились як при експлуатації, так і на операціях дезінфекції, ПСО та їх стерилізації, особливо при хіміко-термічному очищенні. Підтвердженням цьому є залежності зміни опорної поверхні мікропрофілю  $t_p$  від висоти мікровиступів  $p$  (рис. 3).

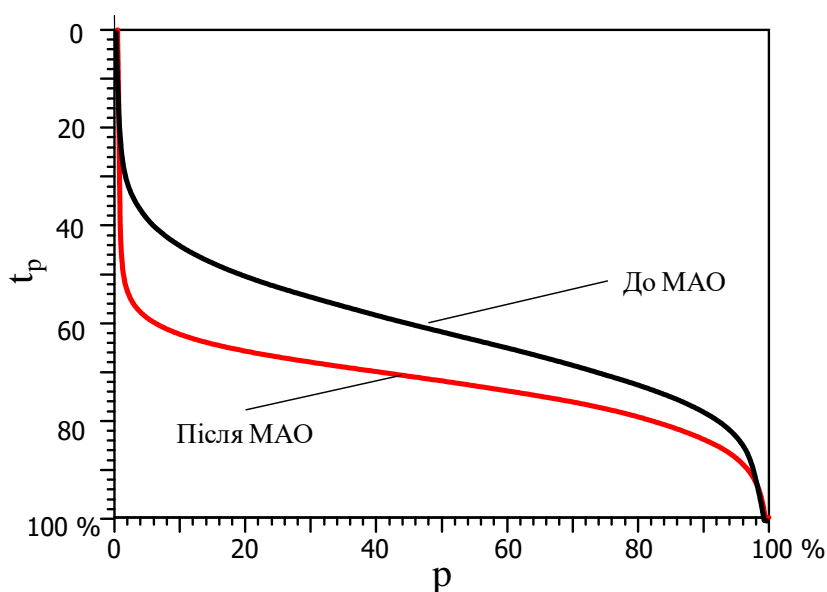


Рис. 3. Зміна величини опорної поверхні мікропрофілю  $t_p$  залежно від висоти мікроставів  $p$

Такий стан мікрогеометрії робочих поверхонь є сприятливим з погляду працездатності та стійкості інструменту.

Стан різальних кромок борфрез у стоматології оцінюють за їхньою шириною [8] і вважають, що борфрези не придатні для використання у випадку, якщо ширина кромки перевищує 0,065 мм або відбулося механічне пошкодження інструменту. Іншим важливим параметром, який впливає на якість роботи борфрез і регламентований стандартом [8], є параметр шорсткості  $R_a$  робочої частини, який не повинен перевищувати  $R_a$  1,25 мкм. Вимірювання здебільшого виконують на інструментальних мікроскопах. Але насправді через відсутність спеціалізованого обладнання в лікарнях в медичній практиці оцінювання різальних властивостей борфрез відбувається безпосередньо лікарем в процесі роботи на рівні відчуттів «добре-погано».

Дослідження впливу процесу MAO на стан різальних кромок борфрез було виконано на партії попередньо згрупованих за розмірами різальних кромок інструментів. Було вибрано сім діапазонів розмірів ширини різальної кромки борфрез. Для кожної борфрези ширину кромки визначали як середню ширину по шістьох різальних кромках. Вибрані діапазони становили: 0,016-0,020, 0,02-0,024, 0,026-0,030, 0,031-0,035, 0,036-0,038, 0,039-0,040 і 0,062-0,065 мм. Ефективність оброблення (заточування) кромки борфрез оцінювали по відношенню ширини кромки перед MAO до ширини кромки після MAO –  $\Delta$ . Оброблення виконували за режимами і в умовах, зазначених вище. Отримані результати наведено на гістограмі (рис. 4).

Встановлено, що найбільш активно процес заточування – зменшення ширини різальної кромки реалізується на борфрезах, у яких ширина кромки до MAO не перевищувала 0,03 мм.

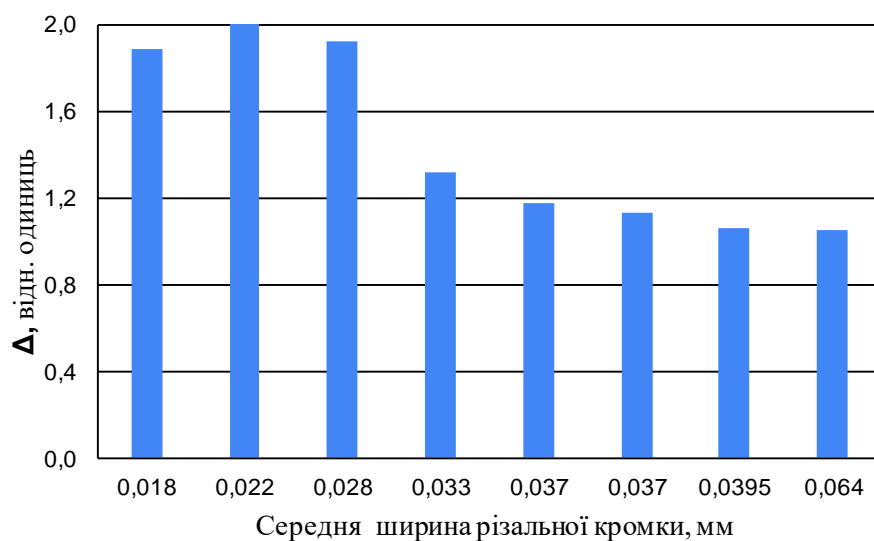


Рис. 4. Зміна величини відношення  $\Delta$  для різних значень середньої ширини різальної кромки

Треба зазначити, що збільшення часу оброблення більше 3 хв не призводить до суттєвих змін у ширині кромки. Для борів із попередньою шириною кромки, більшою за 0,031 мм, зменшення ширини кромки після MAO має місце, але менш суттєво, ніж для попереднього діапазону розмірів. Пояснення зазначеного факту може бути пов'язано з товщиною дефектного слою, який утворився на робочих поверхнях на стадіях дезінфекції, ПСО і стерилізації і видаляється в процесі MAO. Але найбільш вірогідно, що відзначений факт загострення різальних кромки пов'язаний з особливостями формування магнітно-абразивного інструменту і умовами його взаємодії з різальними кромками. При цьому найбільш впливовими факторами будуть не тільки швидкості обертання навколо осі кільцевої ванни і власної осі, а й розмір, форма частинок магнітно-абразивного порошку, абразивні і поліруючі характеристики, його реологічні властивості при певних умовах оброблення. Вплив зазначених параметрів на процес MAO потребує додаткових ретельних досліджень.

**Висновки.** Результати виконаних досліджень показали, що використання MAO борфрез у технологічному ланцюгу очищення стоматологічного інструменту багаторазового використання є доцільним і може бути використане замість операції ПСО. При цьому забезпечується повне видалення забруднень з поверхні, суттєве зниження шорсткості робочих поверхонь до  $Ra = 0,07-0,09$  мкм, розполірування вибоїн, сколів і корозійних порожнин, загострення різальних кромки. Також дослідним шляхом було доведено недоцільність MAO як ПСО для борфрез, у яких середня ширина різальної кромки перевищує 0,031 мм, хоча за стандартом [8] ці бори не є такими, що досягли граничного стану щодо надійності, тобто не втратили працездатність. За результатами оцінки працездатності борфрез, яка була представлена незалежними лікарями, було встановлено зростання строків експлуатації твердосплавних борів, які регламентовані стандартом [8] як 65 хв машинного часу, тобто не менше ніж у 1,8–2 рази.

#### Список використаних джерел

1. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Дезінфекція, передстерилізаційне очищення та стерилізація медичних виробів в закладах охорони здоров'я» [Електронний ресурс]: Наказ № 552 (2014) (Україна). – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1067-14#Text>.
2. Майборода В. С. Магнітно-абразивная обработка деталей сложной формы / В. С. Майборода, И. В. Слободянюк, Д. Ю. Джулий. – Житомир: ПП «Рута», 2017. – 272 с.

3. Майборода В. С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Майборода Віктор Станіславович; Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”. К., 2001. - 404 с.

4. Степанов О. В. Исследование процесса формирования магнитно-абразивного порошкового инструмента для обработки деталей сложной геометрической формы: дис. ... канд. техн. наук: 05.16.06 / Степанов Олег Васильевич; Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”. – К., 1997. – 145 с.

5. Майборода В. С. Магнитно-абразивная обработка кромок лопаток ГТД / В. С. Майборода, О. В. Степанов, В. Я. Шлюко // *Авиационная промышленность*. – 1990. – № 5. – С. 15–17.

6. Грязнов Б. А. Вплив комплексної магнітно-абразивної обробки і композиційних покриттів на характеристики втоми робочих лопаток ГТД / Б. А. Грязнов, В. С. Майборода, Ю. С. Налимов та ін. // *Проблеми динаміки і міцності в газотурбобудуванні*. ГТД-2001: тези доповідей міжнар. наук.-техн. конф. 2001 р. – К., 2001. – С. 33–34.

7. Оликер В. Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В. Е. Оликер. – Москва: *Металлургия*, 1990. – 176 с.

8. ДСТУ 22090.1:2004 Інструменти стоматологічні обертові. Частина 1. Бори сталеві і твердосплавні (ГОСТ 22090.1-93 (ИСО 3823-1-86), IDT). – К.: Міністерство охорони здоров'я України, 2005. – 13 с.

### References

1. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Dezinfektsiia, peredsterylizatsiine ochyshchennia ta sterylizatsiia medychnykh vyrobiv v zakladakh okhorony zdorovia» [On approval of the State sanitary norms and rules “Disinfection, pre-sterilization cleaning and sterilization of medical devices in health care facilities”], Order, № 552 (on August 11, 2014) (Ukraine). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1067-14#Text>.

2. Maiboroda, V.S., Slobodyanyuk, I.V., Dzhuliy, D.Yu. (2017). *Magnitno-abrazivnaya obrabotka detaley slozhnoy formy* [Magnetic abrasive finishing of complex parts]. Private enterprise «Ruta».

3. Maiboroda, V.S. (2001). *Osnovy stvorennia i vykorystannia poroshkovoho mahnitno-abrazyvnoho instrumentu dlia finishnoi obrobky fasonnykh poverkhon* [The basics of creating and using powder magnetic abrasive tools for finishing shaped surfaces] (Doctor dissertation, National Technical University of Ukraine, Kyiv Polytechnic Institute).

4. Stepanov, O.V. (1997). *Issledovanie protcessa formirovaniia magnitno-abrazivnogo poroshkovogo instrumenta dlia obrabotki detalei slozhnoi geometricheskoi formy* [Investigation of the process of forming a magnetic-abrasive powder tool for processing parts of complex geometric shapes] (PhD dissertation, National Technical University of Ukraine, Kyiv Polytechnic Institute).

5. Maiboroda, V.S., Stepanov, O.V., Shliuko, V.Ia. (1990). *Magnitno-abrazivnaia obrabotka kromok lopatok GTD* [Magnetic abrasive edge finishing of blades]. *Aviatsionnaia promyshlennost – Aviation industry*, (5), 15-17.

6. Hriaznov, B.A., Maiboroda, V.S., Nalymov, Yu.S. (2001). *Vplyv kompleksnoi mahnitno-abrazyvnoi obrobky i kompozytsiinykh pokryttiv na kharakterystyky vtomy robochykh lopatok GTD* [Influence of complex magnetic-abrasive finishing and composite coatings on fatigue characteristics of working blades GTD]. In *Problemy dynamiky i mitsnosti v hazoturbobuduvanni. Tezy dopovidei mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Problems of dynamics and strength in the construction of gas turbines. Abstracts of reports of the international scientific and technical conference* (pp. 33-34). Instytut problem mitsnosti imeni S. H. Pysarenka.

7. Oliker, V.E. (1990). *Poroshki dlya magnitnoabrazivnoy obrabotki i iznosostoykikh pokrytiy*. [Powders for magnetic-abrasive finishing and wear-resistant coatings]. *Metallurgiiia*.

8. *Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy* [Ministry of Health of Ukraine]. (2005). *DSTU 22090.1:2004 (ISO 3823-1-86) Instrumenty stomatolohichni obertovi. Chastyna 1. Bory stalevi i tverdospлавni* [DSTU 22090.1:2004 (ISO 3823-1-86) Dental rotary instruments. Part 1. Steel and carbide burs].

Отримано 07.08.2021

UDC 674.022:621.715

**Viktor Maiboroda<sup>1</sup>, Nataliia Havrushkevych<sup>2</sup>, Ivanna Slobodianiuk<sup>3</sup>, Kristina Poznjak<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Machine Design  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)  
**E-mail:** [maiborodavs@gmail.com](mailto:maiborodavs@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6902-6928>

<sup>2</sup>Assistant of the Department of Machine Design  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)  
**E-mail:** [gavrushkevichnataliya@gmail.com](mailto:gavrushkevichnataliya@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6229-7458>

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Assistant Professor of the Department of Machine Design  
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)  
**E-mail:** [ivannavalentinovna@gmail.com](mailto:ivannavalentinovna@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0226-2691>

<sup>4</sup>Applicant for Higher Education  
Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (Kyiv, Ukraine)  
**E-mail:** [bu0617s@gmail.com](mailto:bu0617s@gmail.com)

## USING MAGNETO-ABRASIVE MACHINING OF REUSABLE DENTAL TOOLS FOR RESTORING ITS PROPERTIES

*A reusable dental instrument like a burs type, after each intended use, is subject to a treatment cycle, which includes disinfection, pre-sterilization cleaning, sterilization.*

*The consequences of some defects and damages that arise during exploitation and cleaning under the influence of aggressive media can be eliminated using magneto-abrasive machining, which is proposed to be brought into the treatment cycle of burs at the stage of pre-sterilization cleaning.*

*At present, there is no information on the application of the method of magneto-abrasive machining (MAM) use at the stage of pre-sterilization cleaning to restore the working capacity of the dental burs, which were repeatedly used for their intended purpose.*

*The aim of the work was the confirmation of the feasibility of using this method in the technological chain of treatment dental burs at the stages preceding sterilization.*

*The result of the work is the confirmation of possibility of extending the working life of dental burs by sharpening their cutting edges and improving the state of microgeometry of working surfaces after use and a standard cleaning cycle, excluding the factor - dependence on the qualifications of auxiliary personnel.*

*Roughness parameters were measured before and after magneto-abrasive machining on the front and rear surfaces of the cutting parts of the burs. The efficiency of machining (sharpening) the edges of the burs was evaluated in terms of the ratio of the width of the edge before MAM to the width of the edge after MAM.*

*The results of the carries out studies showed that the using of MAM of burs in the technological chain of cleaning the reusable dental instrument is advisable and can be used instead of the operation of pre-sterilization cleaning, which is performed traditionally.*

**Keywords:** magneto-abrasive machining; dental instrument; carbide burs; pre-sterilization cleaning; cutting edge width; surface roughness.

*Fig.: 4. References: 8.*



**Андрій Єрошенко<sup>1</sup>, Ярослав Кужельний<sup>2</sup>, Володимир Морочко<sup>3</sup>, Володимир Винник<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри технологій машинобудування та деревообробки  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [yeroshenkoam@gmail.com](mailto:yeroshenkoam@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>. **ResearcherID:** G-6757-2014

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

**E-mail:** [k.y.v.immortal@gmail.com](mailto:k.y.v.immortal@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>. **ResearcherID:** J-1127-2016

<sup>3</sup>аспірант

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [itmia@ukr.net](mailto:itmia@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6160-2812>

<sup>4</sup>налагоджувальник верстатів і маніпуляторів з програмним керуванням  
PET Technologies (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [vovavynnyk7@gmail.com](mailto:vovavynnyk7@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4179-5765>. **ResearcherID:** F-8938-2016

## **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛІВ ТА ОПОРНИХ ШИЙОК РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛА ПЕРИФЕРІЄЮ ОРІЄНТОВАНОГО КРУГА В РЕЖИМІ ЗАТУПЛЕННЯ**

*У науковій роботі представлені результати експериментального дослідження процесу шліфування циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого круга в режимі затуплення. Виміряно активну потужність залежно від повздовжньої подачі під час шліфування. Наведено розподіл температури, осцилограми т.е.р.с. по координаті обробки та осцилограми радіального биття деталей під час обробки. Також було виміряно шорсткість оброблених поверхонь деталей.*

**Ключові слова:** шліфування в режимі затуплення; циліндрична поверхня вала; опорна шийка розподільчого вала; орієнтований інструмент; периферія абразивного круга.

*Рис.: 16. Бібл.: 11.*

**Актуальність теми дослідження.** Конкурентоспроможність сучасних підприємств залежить від впровадження нових ефективних способів обробки деталей. Ці способи обробки дають можливість підвищити продуктивність процесу, при цьому зберігаючи задані вимоги щодо геометричної точності, шорсткості та якості поверхонь деталей.

**Постановка проблеми.** У великій кількості різних механізмів використовують циліндричні деталі. До найпоширеніших циліндричних деталей відносяться вали, розподільчі вали та інші. Залежно від призначення деталі приймається відповідний спосіб обробки. Удосконалення вже наявних способів обробки або розробка нових дають можливість забезпечити необхідні вимоги до виготовлення циліндричних деталей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [1-4] розглянуті основи різання матеріалу та особливості процесу шліфування.

Основні способи та особливості шліфування зі схрещеними осями круга та деталей розглянуті в роботі [5].

У роботах [6; 7] наведено способи глибинного шліфування зі схрещеними осями циліндричної деталі та інструмента. Особливість цього способу обробки полягає в тому, що кут орієнтації інструмента приймається за такими умовами, щоб отримати найбільшу продуктивність процесу. При цьому приймаються великі припуски на обробку, що можуть негативно вплинути на структуру поверхневого шару обробленої деталі.

Робота [8] присвячена розробці моделі правки інструментальної поверхні при шліфуванні зі схрещеними осями круга й циліндричної деталі. Особливість правки круга полягає в тому, що різна подача правлячого інструмента забезпечує різну розвиненість різальної периферійної ділянки інструмента. Працюючи в режимі затуплення, збільшується інтервал між його правками.

Використовуючи роботи [9; 10], у роботі [11] було проведено дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність експериментального дослідження процесу шліфування циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого круга в режимі затуплення.

**Мета статті.** Метою цієї статті є експериментальне дослідження процесу шліфування циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого круга в режимі затуплення.

**Виклад основного матеріалу.** Обробка циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого абразивного круга в режимі затуплення проводилась на верстаті з ЧПК В3208Ф3. Оброблювальним інструментом було прийнято абразивний круг 200×25×32 13А 16 К3 СТ3 35 В (рис. 1). На рис. 2 зображено загальний вигляд верстата з ЧПК В3208Ф3.



*Рис. 1. Абразивний круг*



*Рис. 2. Загальний вигляд верстата з ЧПК В3208Ф3*

Проведено шліфування циліндричних поверхонь валів (рис. 3) та опорних шийок розподільчого вала (рис. 4). Матеріал оброблювального вала – сталь 40Х, діаметр – 30 мм, матеріал розподільчого вала – сталь 18ХГТ, діаметр опорної шийки – 45 мм. Обробка здійснювалась периферією орієнтованого круга в режимі затуплення. Оброблювальні деталі зображені на рис. 5.



*Рис. 3. Процес шліфування циліндричної поверхні вала*



*Рис. 4. Процес шліфування опорних шийок розподільчого вала*



*a*



*б*

*Рис. 5. Оброблювальні деталі: вал (а), розподільчий вал (б)*

Потужність холостого ходу (рис. 6) та активна потужність були визначені під час процесу шліфування. Експеримент проводився з припуском на обробку 0,1 мм та з різною повздовжньою подачею:  $S1 = 0,05$ ;  $S2 = 0,1$  та  $S3 = 0,15$  мм/об.

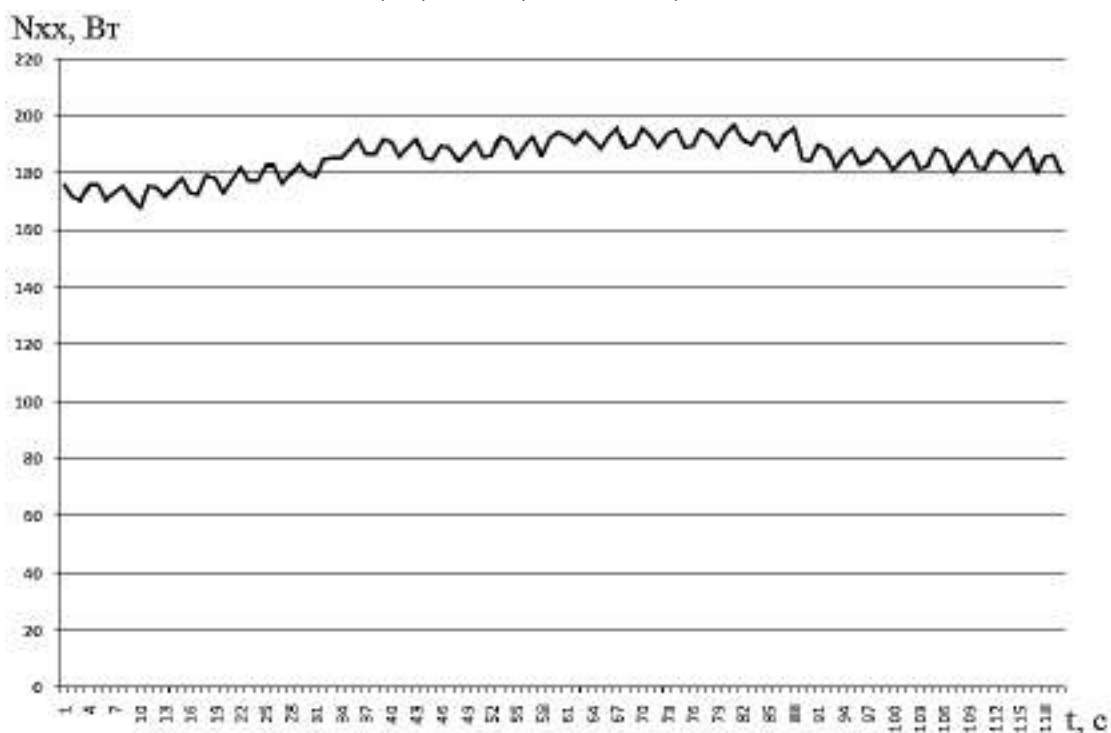


Рис. 6. Графік потужності холостого ходу

На рис. 7 наведено графік активної потужності під час процесу шліфування з паралельними осями круга та деталі.



Рис. 7. Графік активної потужності під час процесу шліфування з паралельними осями круга та деталі

На рис. 8 наведено графік активної потужності під час процесу шліфування циліндричної поверхні вала периферією орієнтованого круга (кут орієнтації інструмента  $\alpha = 1^\circ$ ).

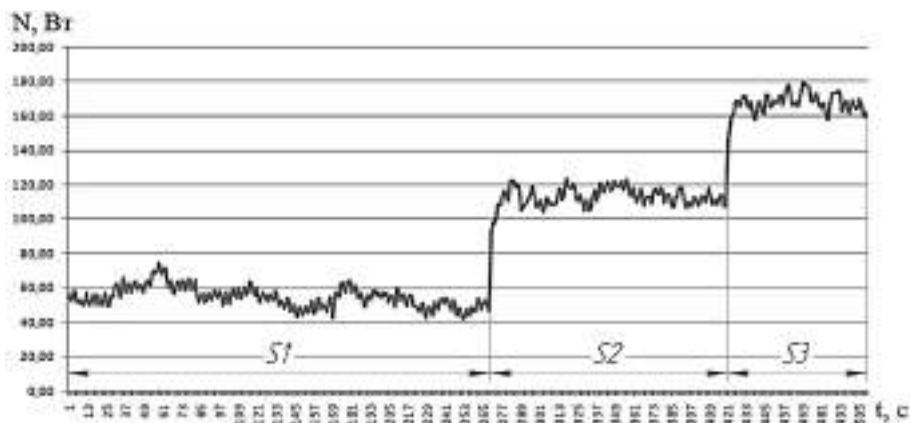


Рис. 8. Графік активної потужності під час процесу шліфування циліндричної поверхні вала периферією орієнтованого круга

Активна потужність вимірювалась за допомогою перетворювача активної потужності С.А 8220, а розподіл температури під час шліфування тепловізором моделі URIRVISION TI-384. На рис. 9 наведено розподіл температури під час обробки циліндричної поверхні вала.

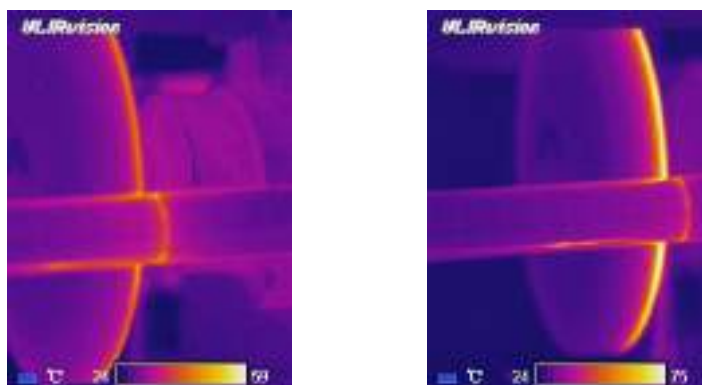


Рис. 9. Розподіл температури під час обробки циліндричної поверхні вала

За допомогою термопар (рис. 10) визначено температуру в зоні обробки під час процесу шліфування циліндричної поверхні вала з паралельними осями (рис. 11, а) та при повороті круга на кут  $\alpha = 1^\circ$  (рис. 11, б).

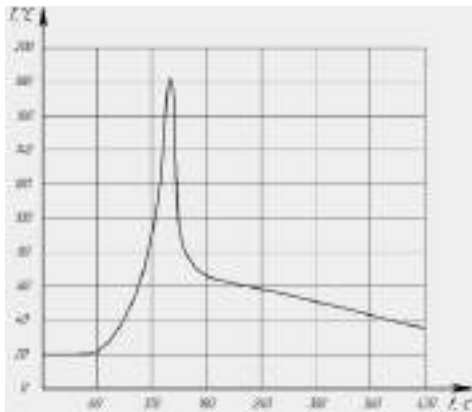


а

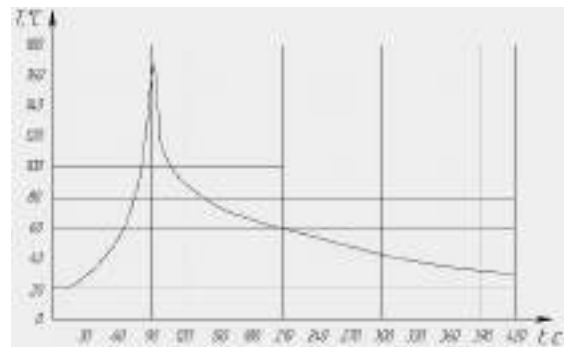


б

Рис. 10. Розміщення термопар в середині вала (а) та в середині опорної шийки розподільчого вала (б)



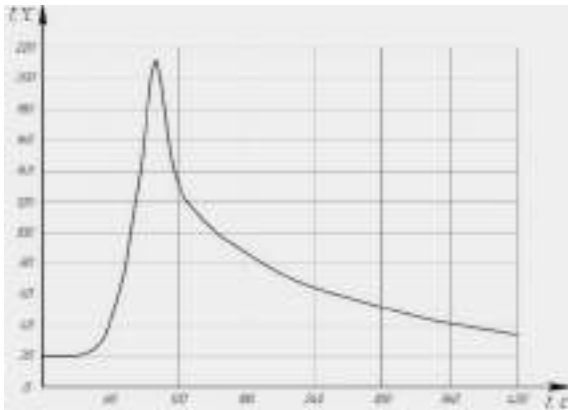
а



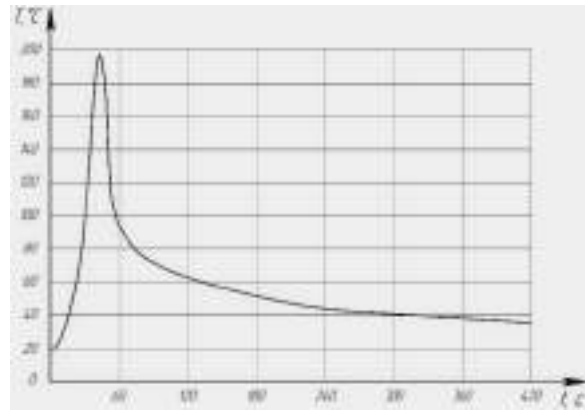
б

Рис. 11. Осцилограма т.е.р.с. по координаті обробки при паралельних осях (а) та при повороті шліфувального круга (б)

На рис. 12 наведено осцилограму т.е.р.с. по координаті обробки при шліфуванні опорної шийки розподільчого вала з паралельними осям (а) та зі схрещеними (б).



а



б

Рис. 12. Осцилограма т.е.р.с. по координаті обробки при шліфуванні опорної шийки розподільчого вала з паралельними осям (а) та зі схрещеними (б)

Радіальне биття вала та опорної шийки розподільчого вала було виміряно, використовуючи оптиволоконний датчик. Осцилограма радіального биття вала та опорної шийки розподільчого вала наведено на рис. 13 та 14 відповідно.

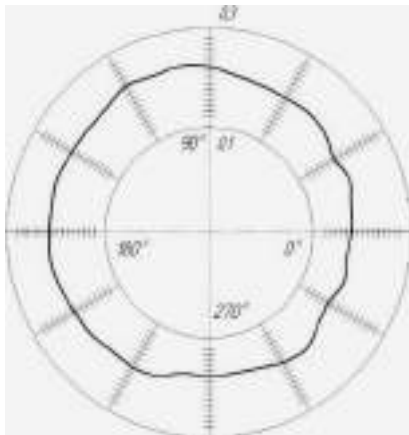


Рис. 13. Осцилограма радіального биття вала

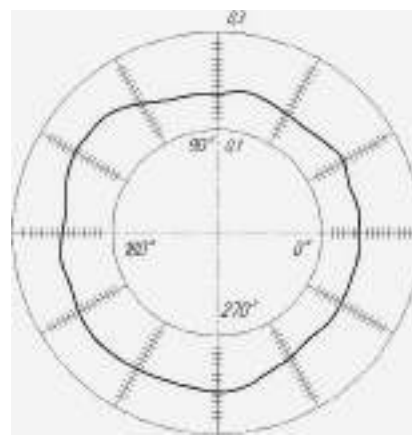


Рис. 14. Осцилограма радіального биття опорної шийки розподільчого вала

Портативним профілометром Pocket Surf III було визначено шорсткість  $Ra$  циліндричної поверхні вала та опорної шийки розподільчого вала. Результати вимірювання наведені на рис. 15 та 16. Згідно з результатами вимірювання шорсткість циліндричної поверхні вала та опорної шийки розподільчого вала знаходяться в межах  $Ra = 0,32 - 0,63$  мкм.



Рис. 15. Результат вимірювання шорсткості циліндричної поверхні вала



Рис. 16. Результат вимірювання шорсткості поверхні опорної шийки розподільчого вала

**Висновки.** Експериментально досліджено процес шліфування циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого круга в режимі затуплення.

Виміряно активну потужність під час процесу шліфування з припуском на обробку 0,1 мм та з різною повздовжньою подачею (0,05; 0,1 та 0,15 мм/об). Приведено розподіл температури під час обробки циліндричної поверхні вала, осцилограми т.е.р.с. по координаті обробки при шліфуванні циліндричної поверхні вала та опорної шийки розподільчого вала при паралельних осях інструмента й деталі та зі схрещеними. Також наведено осцилограми радіального биття деталей.

При експериментальному дослідженні шорсткість обробленої циліндричної поверхні вала та опорної шийки розподільчого вала склала  $Ra = 0,32 - 0,63$  мкм.

Розбіжність результатів, отриманих при теоретичному та експериментальному дослідженнях процесу шліфування циліндричних поверхонь валів та опорних шийок розподільчого вала периферією орієнтованого круга в режимі затуплення, знаходиться в межах 9 %.

Згідно з експериментальними дослідженнями, оброблені поверхні деталей мають необхідні геометричні розміри та шорсткість. У поверхневому шарі оброблених поверхонь відсутні структурні перетворення.

Цей спосіб шліфування можна застосовувати для обробки як жорстких, так і не жорстких деталей.

#### Список використаних джерел

1. Ящерицын П. И. Основы резания материала и режущий инструмент / П. И. Ящерицын, М. Л. Еременко, Н. И. Жигалко. – Минск: Высшая школа, 1975. – 528 с.
2. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов / Е. Н. Маслов. – М.: Машиностроение, 1974. – 320 с.
3. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования материалов / А. К. Байкалов. – К.: Наукова думка, 1978. – 207 с.

4. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1979. – 248 с.
5. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали: монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов: ЧГТУ, 2009. – 356 с.
6. Кальченко В. И. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Сверхтвердые материалы: научно-теоретический журнал. – 2012. – № 2. – С. 58–73.
7. Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece / V. V. Kalchenko, A. M. Yeroshenko, S. V. Boyko, N. M. Sira // Acta Mechanica et Automatica. – 2017. – Vol. 11, No. 1(39). – Pp. 58–63.
8. Development of a model of tool surface dressing when grinding with crossed wheel and cylindrical part axes / V. Kalchenko, V. Kalchenko, O. Kalchenko et al. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2020. – Vol. 3(1). – Pp. 23-29.
9. Корчак С. Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей / С. Н. Корчак. – М.: Машиностроение, 1974. – 280 с.
10. Основы теории резания материалов: учебник / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко и др. – 2-е изд., перераб. и дополн. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
11. Дослідження теплонапруженості процесу шліфування циліндричних поверхонь периферією орієнтованого круга в режимі затуплення / В. В. Кальченко, Н. М. Сіра, Я. В. Кужельний, В. В. Морочко // Технічні науки та технології. – 2021. – № 1 (23). – С. 9–16.

### References

1. Iashcheritsyn, P.I., Eremenko, M.L., & Zhigalko, N.I. (1975). *Osnovy rezaniia materiala i rezhushchii instrument [Fundamentals of cutting material and the cutting tool]*. Vysheishaia shkola.
2. Maslov, E.N. (1974). *Teoriia shlyfovaniia materialov [The theory of grinding of materials]*. Mashinostroenie.
3. Baikalov, A.K. (1978). *Vvedenie v teoriu shlifovaniia materialov [Introduction to the theory of grinding materials]*. Naukova dumka.
4. Filimonov, L.N. (1979). *Vysokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. Mashinostroenie leningradskoe otdelenie.
5. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I., & Kalchenko, V.V. (2009). *Shlifovanie so skreshchivaiushchimisia osiami instrumenta i detali [Grinding with crossed axes tool and workpiece]*. CHGTU.
6. Kalchenko, V. I., Pogiba, N. N., & Kalchenko, D. V. (2012). *Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnostei vrashcheniia orientirovannym elborovym krugom [Determination of the components of the cutting force for deep grinding of surfaces of revolution by an oriented elbor wheel]*. *Sverkhtverdye materialy – Superhard materials*, (2), 58–73.
7. Kalchenko, V. V., Yeroshenko, A. M., & Boyko, S. V. (2017). *Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece*. *Acta Mechanica et Automatica*, 11 (1(39)), 58–63.
8. Kalchenko, V., Kalchenko, V., Kalchenko, O., Sira, N., Kalchenko, D., Morochko, V., & Vynnyk, V. (2020). *Development of a model of tool surface dressing when grinding with crossed wheel and cylindrical part axes*. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3(1), 23-29.
9. Korchak, S. N. (1974). *Proizvoditelnost protcessa shlifovaniia stalnykh detalei [Productivity of the the grinding process of steel parts]*. Mashinostroenie.
10. Mazur, N. P., Vnukov, Ju. N., Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., Zaloga, V. A., Novoselov, Ju. K., & Jakubov, F. Ja. (2013). *Osnovy teorii rezaniia materialov [Fundamentals of the theory of cutting materials]*. NTU «KhPI».
11. Kalchenko V. V., Sira N. M., Kuzhelnyi Ya. V., & Morochko V. V. (2021). *Doslidzhennia teplonapruzenosti protsesu shlifuvannia tsylindrychnykh poverkhon peryferiiei u oriietovanoho kruha v rezhyimi zatuplennia [Research of the heat tension of the grinding process of cylindrical surfaces by the periphery of an oriented circle in the blunting mode]*. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (1(23)), 9–16.

Отримано 11.07.2021



UDC 621.923.42

**Andrii Yeroshenko<sup>1</sup>, Yaroslav Kuzhelnyi<sup>2</sup>, Volodymyr Morochko<sup>3</sup>, Volodymyr Vynnyk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Wood Technology  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [yeroshenkoam@gmail.com](mailto:yeroshenkoam@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1629-9516>. ResearcherID: G-6757-2014

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [k.y.v.immortal@gmail.com](mailto:k.y.v.immortal@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5269-8557>. ResearcherID: J-1127-2016

<sup>3</sup>PhD Student

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [itmia@ukr.net](mailto:itmia@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6160-2812>

<sup>4</sup>Adjuster of Machine Tools and Manipulators with Programmed Control  
PET Technologies (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [vovavynnyk7@gmail.com](mailto:vovavynnyk7@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4179-5765>. ResearcherID: F-8938-2016

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE PROCESS OF GRINDING CYLINDRICAL SURFACES OF SHAFTS AND SUPPORT NECKS OF A CAMSHAFT BY THE PERIPHERY OF AN ORIENTED CIRCLE IN A BLUNT MODE

*The competitiveness of modern enterprises depends on the ways of processing parts that directly affect productivity.*

*To meet the necessary requirements for the manufacture of cylindrical parts, it is required to improve existing processing methods or develop new ones.*

*Methods of deep grinding with crossed axes of a cylindrical part and a tool are created. A model of editing the tool surface during grinding with crossed axes of a circle and a cylindrical part in the blunting mode is developed. The heat tension of the grinding process of cylindrical surfaces by the periphery of the oriented circle in the bluntness mode has been researched.*

*The absence of an experimental research of the process of grinding the cylindrical surfaces of the shafts and camshaft support necks with the periphery of the oriented circle in the blunt mode.*

*The aim of the research is an experimental study of the process of grinding the cylindrical surfaces of shafts and camshaft support necks by the periphery of an oriented circle in the bluntness mode.*

*To ensure the treatment of the cylindrical surfaces of the shafts and camshaft support necks by the periphery of the grinding wheel, a method of grinding the periphery of the oriented wheel in the blunting mode is used.*

*The active power was measured as a function of the longitudinal feed in the process of grinding with the periphery of an oriented wheel in the blunt mode. The distribution of temperature, oscillograms of the thermo-electric driving force along the processing coordinate and oscillograms of the radial runout of parts during processing are given. The roughness of the processed surfaces of the parts was  $Ra = 0,32 - 0,63 \mu m$ .*

**Keywords:** grinding in the blunting mode; cylindrical shaft surface; camshaft support neck; oriented tool; the periphery of the abrasive wheel.

*Fig.: 16. References: 11.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-26-37

УДК 621.886.1

**Іван Дегтярьов<sup>1</sup>, Анна Нешта<sup>2</sup>, Микола Самардак<sup>3</sup>, Віталій Кононович<sup>4</sup>,  
Павло Кушніров<sup>5</sup>, Вадим Бага<sup>6</sup>, Ярослав Клок<sup>7</sup>**

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

**E-mail:** [ivan\\_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

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

**E-mail:** [anna\\_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4072-5439>

<sup>3</sup>інженер, ПАТ «Сумський завод “Насосенергомаш”» (Суми, Україна)

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

<sup>4</sup>аспірант кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів  
Сумський державний університет (Суми, Україна)

**E-mail:** [v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua)

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів  
Сумський державний університет (Суми, Україна)

**E-mail:** [p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5894-538X>

<sup>6</sup>кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технічної теплофізики  
Сумський державний університет (Суми, Україна)

**E-mail:** [v.baga@ktf.sumdu.edu.ua](mailto:v.baga@ktf.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0131-631X>

<sup>7</sup>студент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів  
Сумський державний університет (Суми, Україна)

**E-mail:** [yarikklok11@gmail.com](mailto:yarikklok11@gmail.com)

## АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ТА ОБЛАСТІ КОНТАКТУ ШТИФТОВИХ КОНІЧНИХ З'ЄДНАНЬ З КОНУСНІСТЮ 1:50

*На основі геометричного аналізу області контакту штифтового конічного з'єднання встановлено параметри, що впливають на тип контакту отвору і штифта. Уперше встановлена та запропонована у вигляді формули залежність величини відхилення кута отвору під штифт від допусків на параметри розгортки конічних. У роботі як рекомендації конструктору для проектування штифтових конічних з'єднань із конусністю 1:50 представлені графіки залежності відхилення кутів отвору та штифтів класів точності А і В від їхнього номінального значення. Також визначена сумарна відносна похибка відхилення кутів отвору та штифта від номінального значення кута для усіх стандартних значень діаметрів штифтових конічних з'єднань.*

**Ключові слова:** насособудування; клас точності; допуск; конструкторська документація; номінальний розмір.  
Табл.: 1. Рис.: 11. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Штифтові з'єднання (ШЗ) застосовуються в деталях машин та механізмів, де необхідно отримати високу точність центрування у процесі складання вузлів [1]. Штифти можуть застосовуватись як у з'єднаннях, що не потребують демонтажу, тобто як напрямні елементи, що забезпечують додаткову жорсткість конструкції від сил зсуву, якщо такі виникають між деталями. Та в більшості випадків штифтові з'єднання передбачають можливість періодичних демонтажів та монтажів спряжених деталей для здійснення регламентного обслуговування. Під час складання кришки та корпусу відцентрового насоса з метою приведення їхніх базових поверхонь у початкове положення, що було досягнуте у процесі першого регулювання та складання, при повторних монтажах застосовують штифтові конічні з'єднання (ШКЗ). Повторне складання необхідне для можливості здійснення обслуговування та заміни підшипників ротора та виконання інших робіт. При цьому вимоги до точності взаємного розміщення кришки відносно корпусу досить високі, адже це впливає на роботу агрегату загалом, тому виконання аналізу області контакту в ШКЗ є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з постійно зростаючою конкуренцією в області насособудування, замовники продукції насособудівних підприємств віддають перевагу тій продукції, конструктивні рішення в якій дозволяють виконувати технічне обслуговування насосів в автономному від підприємства-виробника режимі. Це передбачає лише покупку запасних частин і пристроїв для виконання регламентних робіт. Тому на етапі

замовлення продукції насособудування технічні фахівці замовника оцінюють не єдиного разу вигоду при купівлі обладнання, а довгострокову вигоду в процесі його експлуатації за інших рівних умов (технічні характеристики, надійність та ін.). Таким чином, на перший план виходить експлуатаційна технологічність конструкції. Нині для частих процесів монтажу та демонтажу, а також отримання постійного точного взаємного розміщення кришки та корпусу відцентрового насосу альтернативи ШКЗ із конусністю 1:50 немає. Конструкція ШКЗ здебільшого складається мінімум із двох деталей, взаємне положення між якими фіксується за допомогою штифта конічного, тобто це з'єднання на перший погляд досить просте саме з погляду конструктора. Адже штифт є стандартною деталлю, а отвір під нього виготовляється стандартним інструментом – розгорткою конічною. Відповідно конструктор, вважаючи, що всі вимоги для правильного функціонування з'єднання будуть забезпечені на рівні вимог стандартів на штифти та розгортки конічні, приділяє досить мало уваги технічним вимогам до ШКЗ, що як показує реальна практика виготовлення ШКЗ є помилкою. Через відсутність необхідної інформації саме від конструктора на робочих та складальних кресленнях деталей, що містять ШКЗ [2], а також через досить великі допуски на діаметр та кут штифтів конічних за відповідними стандартами на виробництвах часто виникають ситуації з появою браку саме у ШКЗ. Оскільки основним завданням ШКЗ є приведення базових поверхонь кришки і корпусу у первинне положення, що досягнуте під час регулювання та складання, після планових ремонтних робіт з високою точністю, то проблему недостатньої інформації про технічні та геометричні параметри ШКЗ необхідно вирішувати починаючи з аналізу області контакту в ШКЗ саме для штифтів з конусністю 1:50.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання проектування та розрахунку штифтових з'єднань у різних галузях машинобудування розглядали багато вчених по всьому світу. Зокрема у [3] досліджуються питання міцності штифтів під час навантаження на зріз між двома металевими пластинами за допомогою чисельного моделювання у програмному комплексі ABAQUS / Explicit. F. Nouri зі співавторами в роботі [4] досліджували параметри відмови ШЗ під час сполучення балок із композиційних матеріалів зі сталлю та деревом із використанням методу скінчених елементів. У роботі [5] виконувались дослідження контактних напружень у ШЗ на межі контакту штифтів та алюмінієвих пластин, з'єднаних між собою. Важливість дослідження ШЗ, що вже введені в експлуатацію, підтверджується у роботі [6], де вчені вивчали статистику використання та відмов розтискних штифтів у різних галузях промисловості. У роботі [7] запропонована технологія складання ШЗ під час з'єднання сталльної деталі з композиційним матеріалом на основі фібергласу за допомогою сталевих штифтів малого діаметра, а також дослідження цих з'єднань. Також широко застосовуються ШЗ і в аерокосмічній галузі, що описано в [8], де з виконувався аналіз впливу технологічних факторів, пов'язаних із виготовленням місця під штифт, а також зусиль необхідних для складання та демонтажу ШЗ залежно від якості оброблення поверхні отвору з використанням ABAQUS. M. Kraus та M. Merklein у роботі [9] пропонують та досліджують міцність на зсув ШЗ алюмінієвих та сталевих пластин, за рахунок застосування екструзійного методу посадки штифтів у пластини.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання аналізу області контакту у ШКЗ науковою спільнотою розглядалися досить обмежено. А саме не досліджено вплив відхилення кутів отвору та штифта у ШКЗ на тип контакту та наслідків, що можуть при цьому виникати.

**Метою статті** є встановлення типу контакту у штифтових конічних з'єднаннях із конусністю 1:50 залежно від допусків на діаметральні та кутові розміри отвору та штифта.

**Виклад основного матеріалу.** Як уже згадувалося в [10], ШЗ мають багато варіантів конструкцій і дуже широке застосування відповідно до стандартів, розглянутим у попередніх публікаціях [11].

Шляхом порівняльного аналізу штифтових циліндричних з'єднань (ШЦЗ) і ШКЗ [12] встановлено, що ШКЗ мають переваги в показниках:

- ремонтпридатності;
- стабільності величини натягу при монтажах / демонтажах;
- можливості регулювання величини натягу;
- можливості використання ручного інструменту при ремонті місця під штифт;
- зручності і швидкості монтажу / демонтажу з'єднання.

При цьому ШЦЗ мають перевагу лише на етапі виготовлення, що добре лише одно-моментно тільки для виробника, а не для замовника. Тому, зважаючи на необхідність регламентних робіт протягом усього терміну служби агрегату, який становить не менше 40 років, ШКЗ мають більше переваг перед ШЦЗ. Оскільки вигода від незначного зниження ціни агрегату з використанням в конструкції ШЦЗ не йде ні в які порівняння зі складністю, проблемами і вартістю регламентних робіт в подальшому при використанні ШЦЗ, то вибір замовника об'єктивно залишається за виробом, де використовуються саме ШКЗ.

Це дозволяє перейти до більш детального розгляду ШКЗ, яке повністю задовольняє сучасні вимоги експлуатаційної технологічності конструкції виробів. Нижче представлені базові варіанти конструкції ШКЗ, де використовуються стандартні конічні штифти (рис. 1-4).

На рис. 1 наведено ШКЗ на основі штифта конічного за ГОСТ 3129-70 у варіантах його використання при з'єднанні втулки й вала для передачі крутного моменту, а також кришки і корпусу для установа необхідного взаємного положення один відносно одного. Цей варіант ШКЗ за необхідності повторних монтажів може бути використаний тільки для наскрізних отворів.

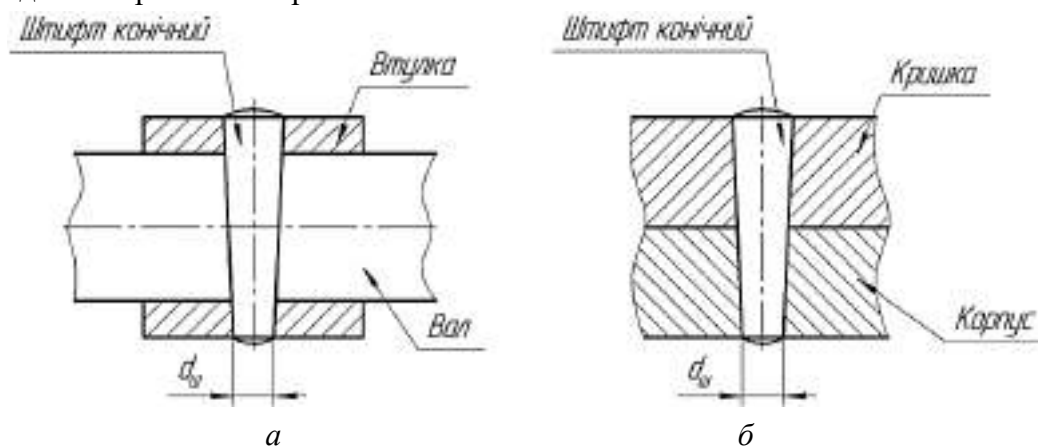


Рис. 1. Варіанти застосування ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 3129-70 у з'єднанні:  
а – втулки і вала; б – кришки і корпусу

Штифти за ГОСТ 9464-79 можуть бути використані у ШКЗ у варіантах як із наскрізним, так і з глухим отворами (рис. 2). Використання цієї конструкції штифтів конічних отримало найбільше поширення у глухих отворах, що представляється можливим завдяки наявності отвору із різьбою, що за рахунок використання «зворотного молотка» дозволяє видалити штифт за необхідності їх демонтажу. Переважно такі штифти використовують там, де не допускається виступання будь-яких елементів над робочими поверхнями деталей, що сполучаються. Також не забороняється використовувати штифти даної конструкції і в наскрізних отворах, але це можна вважати недоцільним унаслідок більш високої ціни самого штифта.

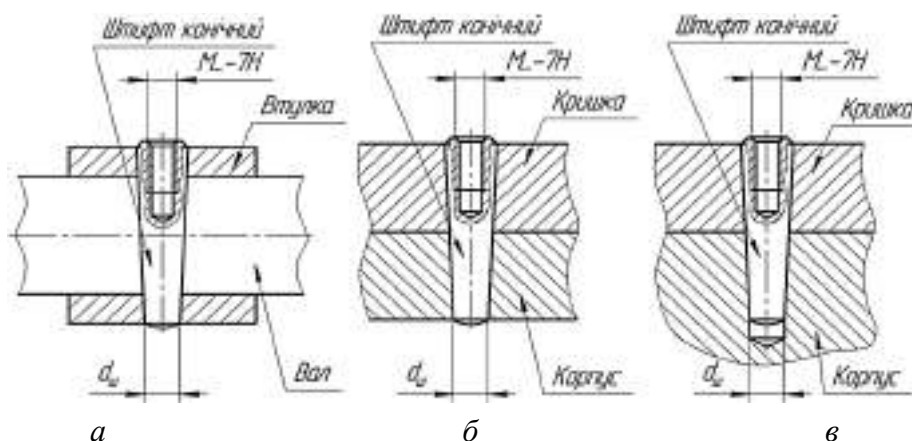


Рис. 2. Варіанти застосування ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 9464-79 у з'єднанні:  
 а – втулки і вала; б – кришки і корпусу з наскрізним отвором;  
 в – кришки і корпусу з глухим отвором

Штифти за ГОСТ 9465-79 можуть бути використані у ШКЗ як із наскрізним, так і з глухим отворами (рис. 3). Використання цієї конструкції штифтів конічних отримало найбільше поширення в глухих отворах (рис. 3, б), що представляється можливим завдяки наявності різьбової цапфи, яка дозволяє витягнути штифт з отвору за рахунок затягування гайки, таким чином, створюючи необхідне осьове зусилля для демонтажу. Переважно такі штифти використовують там, де допускається виступання різьбової цапфи над робочими поверхнями деталей, що сполучаються. Також не забороняється використовувати штифти даної конструкції і в наскрізних отворах (рис. 3, а), але це можна вважати недоцільним внаслідок більш високої вартості самого штифта.

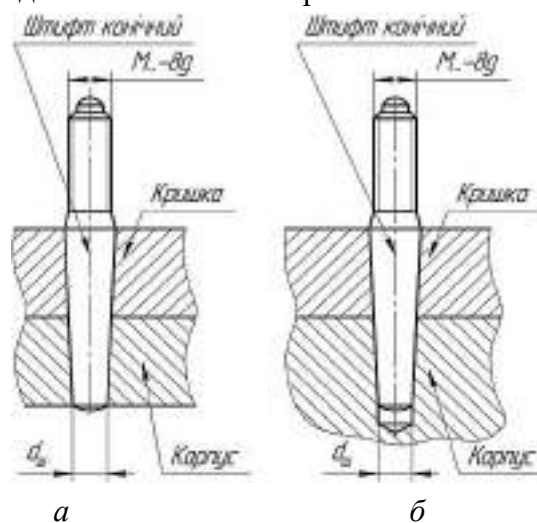


Рис. 3. Варіанти застосування ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 9465-79 у з'єднанні:  
 а – кришки і корпусу з наскрізним отвором; б – кришки і корпусу з глухим отвором

Штифти за ГОСТ 19119-80 можуть бути використані у ШКЗ тільки у варіанті з наскрізним отвором (рис. 4). Особливістю штифтів даної конструкції є наявність поздовжнього паза на меншому діаметрі штифта, що дозволяє розводити дві його половини і таким чином виконувати стопоріння штифта, запобігаючи його випадінню. Такі конструкції штифтів переважно використовуються при високих вібраційних і відцентрових навантаженнях, як правило, у з'єднаннях втулки і вала. Але штифти цієї конструкції теж не забороняється використовувати і при з'єднанні плоских деталей. Хоча варто при цьому враховувати, що розбирання ШКС з розвідними штифтами передбачає його одноразове використання, зважаючи на великі пластичні деформації розсувних елементів штифта й можливого їх руйнування.

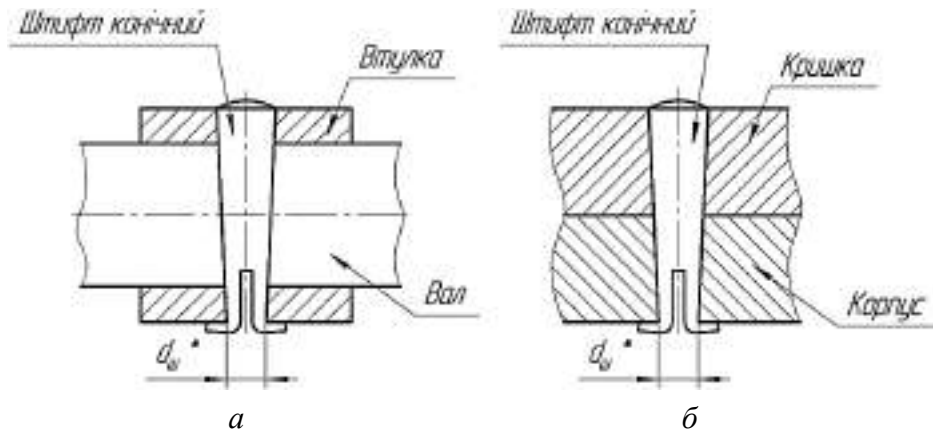


Рис. 4. Варіанти використання ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 19119-80 у з'єднанні:  
а – втулки і вала; б – кришки і корпусу

На рис. 5 представлено ШКЗ із використанням штифта за ГОСТ 9465-79 в тому вигляді, як воно показано у стандарті підприємства (СТП) АТ «Сумський завод «Насосенергомаш», що нині використовується. Цей СТП розроблений на ПАТ «ВНДІАЕН» ще в 90-і роки ХХ століття для потреб підприємства та досі не переглядався. Як видно з рис. 5, це ШКЗ відрізняється від базового варіанта (рис. 3, б) наявністю гайки і внутрішнього циліндричного уступу (цековки) під установлення гайки. Глибина даного уступу, як правило не менше висоти конічного перехідного паска між різьбовою цапфою і робочою поверхнею штифта конічного. Уступ служить для можливості видалення штифта з отвору, а гайка, необхідна виключно для демонтажу штифта. Більш детальний аналіз варіанта ШКЗ згідно рис. 5 виконаємо у наступних публікаціях.

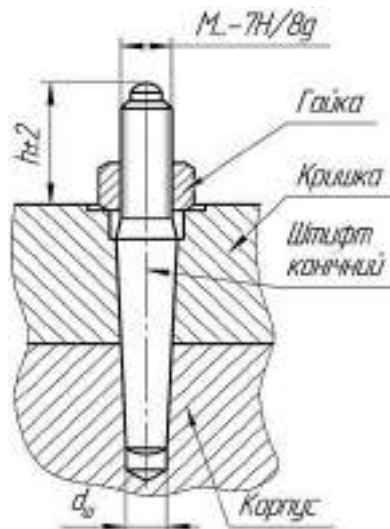


Рис. 5. ШКЗ на основі штифта за ГОСТ 9465-79 на прикладі з'єднання кришки й корпусу з глухим отвором і гайкою для демонтажу (заводський варіант за СТП)

Як було встановлено із літературного огляду, області контакту між конічною поверхнею штифта й отвору під нього приділено досить мало уваги. Це відноситься до усіх ШКЗ (рис. 1-5). Так, конструктор правомірно допускає утворення різних типів контакту поверхонь отвору і штифта, вважаючи, що всі параметри штифта стандартизовані, а параметри отвору отримуються за допомогою розгорток, які виготовляються за відповідними стандартами.

Розглянемо більш докладно стандартне місце під установку штифта конічного, яке зображується на кресленнях конструктором, з точки зору надання допустимих параметрів на виготовлення конічного отвору. А саме ступінь точності конічного отвору під

штифт прямо не вказується, так як залежить від ступеня точності розгортки, а допуск на діаметр розгортки за ГОСТ 10083-81 відповідає - h9. При цьому допуски на кутовий розмір конусності самого штифта за ГОСТ 26862-86 відповідають 8-му ступеню точності для штифтів класу точності А і 10-му - для штифтів класу точності В, а поля допусків на номінальний діаметр штифта h10 і h11 відповідно.

У результаті на практиці може виникнути ситуація, коли на поверхнях, що підлягають складанню, та виготовлених у межах допусків, відсутній необхідний рівномірний контакт на всій конічній поверхні.

Рівномірний контакт по всій конічній поверхні є важливим з погляду утворення рівномірного натягу у ШКЗ, що є основною умовою його функціонування з огляду на виконання ним службового призначення. Це з погляду конструктора передбачає, що дійсні контактні напруження вздовж усієї поверхні отвору не перевищать допустимих значень для конкретного матеріалу деталей, які підлягають складанню.

Розглянемо випадок, коли спочатку без прикладання навантаження поверхні контактують за меншим діаметром конусу, а по більшому діаметру утворюється зазор (рис. 6, а). Зазор усувається шляхом осевого переміщення штифта до моменту створення натягу при посадці з фіксацією за заданим взаємним осевим переміщенням сполучених конусів від їх початкового положення згідно п. 3.3 ГОСТ 2.320-82.

При цьому може виникнути ситуація, коли на меншому діаметрі ШКЗ величина контактних напружень перевищить значення напруження зминання для матеріалів деталей, що сполучаються, а на більшому діаметрі все ще буде присутній зазор. У результаті ніякого рівномірного контакту досягнути не вдасться. Твердість штифта завідомо вища і становить мінімум 50 HRC за ГОСТ 26862-86, що суттєво переважає даний показник з'єднувальних деталей. Вказання заданої величини осевого переміщення штифта для створення необхідного натягу в ШКЗ, що вимагає п. 3.3 ГОСТ 2.320-82, можливе лише при після проведення серій експериментальних досліджень для кожного з діаметрів ШКЗ. У результаті задання величини осевого переміщення на кресленні не гарантує контакту вздовж усієї конічної поверхні ШКЗ, що в такому разі робить його необґрунтованим та ставить під сумнів необхідність присутності останнього на кресленні в такому вигляді як це є зараз.

При початковому контакті на більшому діаметрі ШКЗ може виникнути протилежна ситуація (рис. 6, б). Таким чином, варіанти контакту згідно з рис. 6 з погляду конструкторських розмірів вважаються правомірними, адже ніяких інших вимог не надається.

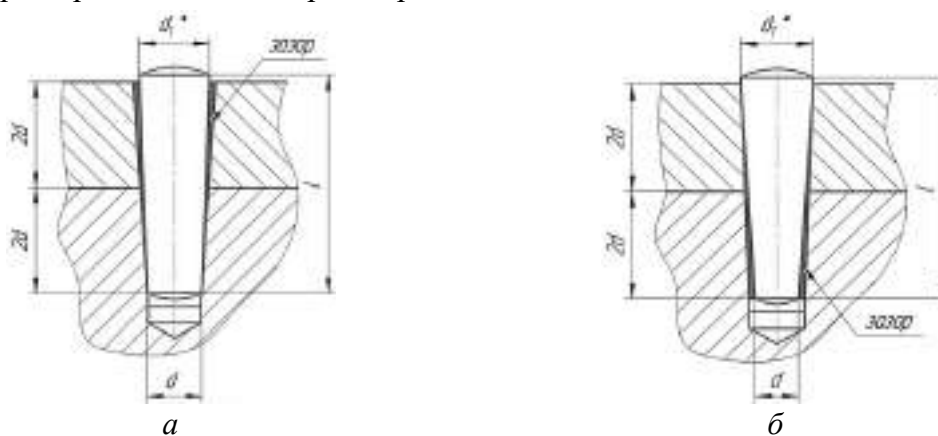


Рис. 6. Ілюстрація контакту робочих поверхонь штифта і деталей, що попередньо контактують:

а – за меншим діаметром штифта; б – за більшим діаметром штифта

Отже, з рис. 6 видно, що тип контакту залежить саме від фактичних значень кутів штифта й отвору, що регламентуються відповідно кутовими допусками на штифти і розгортки конічні. При цьому допуски на діаметри штифта та отвору не впливатимуть на тип контакту, а лише впливають на осьове положення штифта відносно отвору при умові контакту за номінальними значеннями кутів конуса отвору та штифта. Тому для зручності подальшого аналізу кутових відхилень обрано варіант контакту із зазором за більшим діаметром (рис. 6, а), а обґрунтування вибору варіанта контакту з погляду виготовлення та контролю з'єднання буде зроблено в наступних публікаціях.

Ступені точності кутів для штифтів різних класів точності відомі, тому варто визначити відхилення кута розгортки конічної від його номінального значення, що і відповідатиме відхиленню кута отвору під штифт.

Ступінь точності кута розгортки конічної не вказується у ГОСТ 10083-81, але в п. 1.11 цього стандарту зазначено, що граничні відхилення різниці діаметрів розгортки конічної в сторону зменшення конусності на довжині 100 мм:

- не більше 0,05 мм при довжині робочої частини до 100 мм;
- не більше 0,04 мм при довжині робочої частини 100 ... 200 мм;
- не більше 0,03 мм при довжині робочої частини більш ніж 200 мм.

Фразу «в сторону зменшення конусності» варто розуміти як зменшення значення кута конічної поверхні, тобто наближення її до циліндричної форми, при якій різниця діаметрів повинна бути мінімальною.

Так як розгортки для отворів під штифти конічні є мірним інструментом, то розмір отвору визначається розміром розгортки. Тому для визначення величини відхилення кута конуса від номінального значення за відомими значеннями зміни зовнішнього діаметра конуса використано геометричну побудову половини штифта конічного (рис. 7) в сторону зменшення конусності.

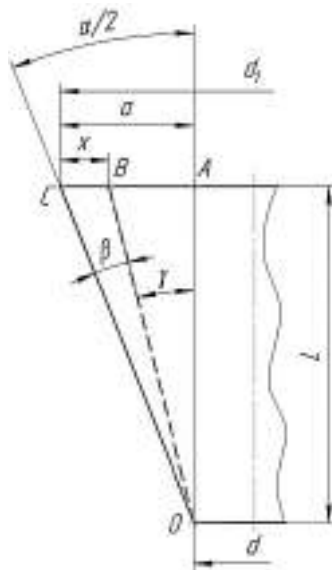


Рис. 7. Ілюстрація відхилення кута конуса штифта від номінального значення в сторону зменшення конусності

Визначимо допустимий кут зміни конуса  $\beta$  залежно від половини номінального кута конуса  $\alpha/2 = 34'23''$  і мінімально допустимого кута  $\gamma$ , а також висоти конуса  $L$ .

З прямокутного трикутника OAC:

$$\frac{\alpha}{2} = \arctg\left(\frac{d_1-d}{2L}\right) = \arctg\frac{a}{L}, \quad (1)$$

де  $d_1$  – більший діаметр отвору під штифт, мм;

$d$  – менший (номінальний) діаметр отвору під штифт, мм;



$L$  – довжина робочої поверхні отвору під конічний штифт, мм.

З прямокутного трикутника ОАВ:

$$\gamma = \arctg\left(\frac{a-x}{L}\right), \tag{2}$$

де  $x$  – половина граничного відхилення різниці діаметрів розгортки конічної в сторону зменшення конусності за ГОСТ 10083-81, мм.

З рис. 7 та рівнянь (1), (2) визначимо кут  $\beta$ :

$$\beta = \arctg\frac{a}{L} - \arctg\left(\frac{a-x}{L}\right) = \arctg\frac{x}{L} \tag{3}$$

З формули (3) випливає, що допустимий кут зміни конуса отвору під штифт –  $\beta$ , тобто відхилення від половини номінального кута конуса  $\alpha/2$  тим менше, чим більше довжина конуса в певному діапазоні довжин встановлених ГОСТ 10083-81.

Згідно з [12] визначені значення відхилення половини кута конуса  $\alpha/2$  (рис. 8) для штифтів класів точності А і В залежно від ступеня точності кута його конічної поверхні. Для отворів під штифт (рис. 9) за формулою (3) розраховані граничні відхилення половини кута  $\alpha/2$  залежно від заданих ГОСТ 10083-81 відхилень різниці діаметрів розгортки конічної в сторону зменшення конусності для максимальних значень діапазонів 0...100 мм, 100...200 мм, > 200 мм, а результати зведені в таблиці. Третій діапазон > 200 мм був обмежений максимальним значенням 280 мм, оскільки це максимально можлива довжина штифта конічного за ГОСТ 3129-70.

Таблиця

Граничні відхилення кутів і діаметрів штифтів конічних та отворів під них для максимальних значень діапазонів

Діапазон довжин, мм	Діапазон діаметрів, мм	Максимальний розмір діапазону довжин, мм	Максимальний розмір діапазону діаметрів, мм	Максимальне відхилення розміру отвору під штифт конічний від його номінального значення (поле допуску розгортки h9)		Максимальне відхилення розміру штифта конічного від номінального значення для класів точності			
				кутове, °	діаметральне, мм	А (поле допуску h10)		В (поле допуску h11)	
						кутове, °	діаметральне, мм	кутове, °	діаметральне, мм
0...100	0...25	100	25	0°5'24''	- 0,052	0°0'40''	- 0,084	0°1'30''	- 0,130
100...200	25...50	200	50	0°0'54''	- 0,062	0°0'25''	- 0,100	0°0'1'	- 0,160
>200	50	280	50	0°0'12''	- 0,062	0°0'20''	- 0,100	0°0'50''	- 0,160

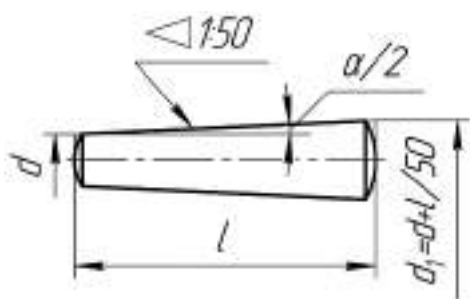


Рис. 8. Ілюстрація параметрів штифта конічного за ГОСТ 3129-70

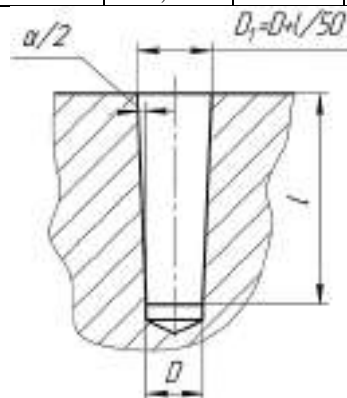


Рис. 9. Ілюстрація параметрів отвору під штифт конічний за ГОСТ 3129-70 та ГОСТ 9465-79

Також для наочності та можливості визначення відхилення кутів отвору в ШКЗ та штифтів класів точності А та В від їх номінальних значень наведений графік (рис. 10). Для визначення діаметрального зазора на більшому діаметрі штифта у варіанті контакту в ШКЗ за рис. 6, а залежно від діаметра ШКЗ наведено графік (рис. 11). Оцінка сумарної відносної похибки отвору та штифта в ШКЗ від номінального значення кута ШКЗ представлена графічно рис. 12). Це особливо актуально для досить малих кутів, яким є в нашому випадку і є кут  $\alpha/2=34'23''$  у ШКЗ із конусністю 1:50.

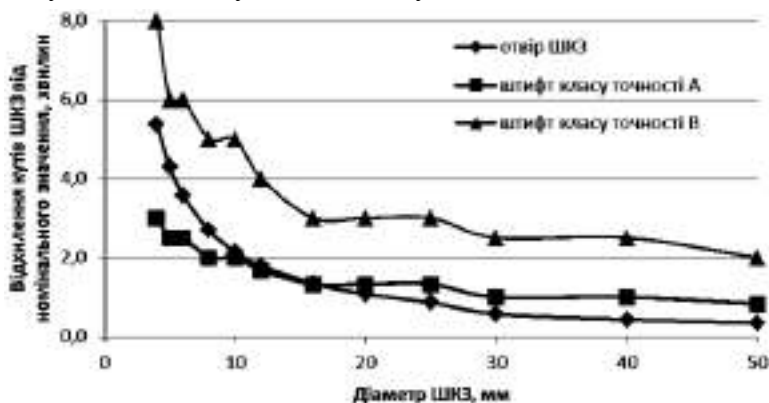


Рис. 10. Відхилення кутів отвору та штифтів у ШКЗ від номінального значення

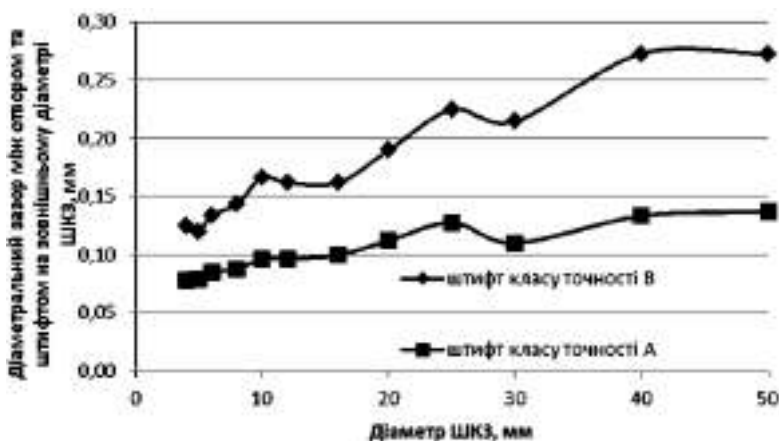


Рис. 11. Залежність діаметрального зазора на більшому діаметрі штифта від діаметра ШКЗ

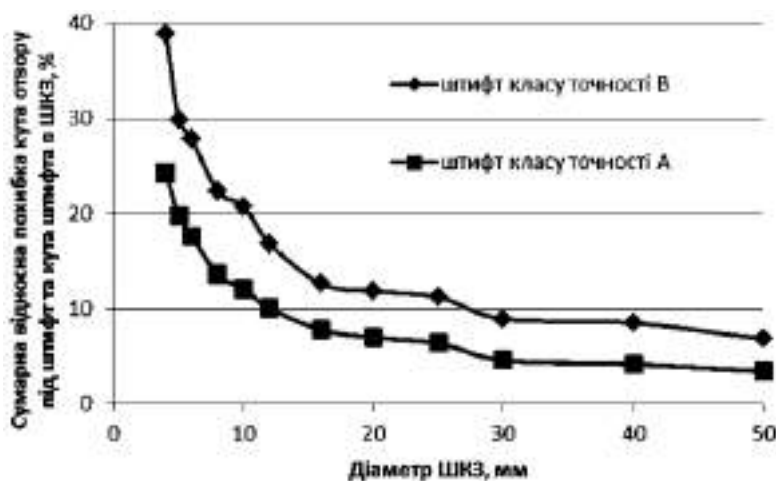


Рис. 12. Графічна ілюстрація сумарної відносної похибки відхилення кутів отвору та штифта у ШКЗ від номінального значення

З рис. 10 та рис. 12 видно, що зі збільшенням діаметра ШКЗ відхилення кутів отвору та штифтів класів точності А і В у ШКЗ від їх номінального значення та сумарна відносна похибка зменшуються. Це можна пояснити тим, що при збільшенні діаметра ШКЗ зростає і його довжина, а згідно з п. 1.11 ГОСТ 10083-81 значення відхилень розгорток конічних від номінального профілю конічної поверхні, що задані в діаметральному вираженні менші для більших значень довжини розгорток та отворів під штифти відповідно. А збільшення довжини розгорток прямо пропорційно залежить від діаметрів ШКЗ. За [12] також встановлено, що зі збільшенням довжини штифтів, що застосовуються в ШКЗ відхилення від номінального значення кута зменшується.

Отримані значення діаметрального зазору (рис. 11) можуть бути застосовані конструктором для визначення необхідної величини осевого переміщення штифта для закриття зазору на більшому діаметрі штифта. З рис. 11 простежується, що зі збільшенням діаметра ШКЗ діаметральний зазор між отвором та штифтом на зовнішньому діаметрі збільшується.

**Висновки.** На основі геометричного аналізу області контакту ШКЗ встановлено, що тип контакту у ШКЗ залежить лише від допустимих кутових відхилень кутів отвору під штифт та штифта. Уперше встановлена та представлена у вигляді формули геометрична залежність величини відхилення кута отвору під штифт від допусків на параметри розгорток конічних за ГОСТ 10083-81, що задані у діаметральному вираженні. Як рекомендації конструктору ШКЗ представлені графіки залежності відхилення кутів отвору та штифтів класів точності А і В у ШКЗ від їх номінального значення, а також величини діаметрального зазору на більшому діаметрі штифта, що можуть бути застосовані конструктором під час проектування ШКЗ.

Встановлено, що сумарна відносна похибка відхилення кутів отвору та штифта в ШКЗ від номінального значення досягає 25 та 38 % для ШКЗ із застосуванням штифтів класу точності А та В відповідно, а також зменшується зі збільшенням діаметра ШКЗ.

Отримані результати дозволяють говорити про доцільність подальших досліджень ШКЗ з конусністю 1:50, адже необхідної інформації для проектування ШКЗ у відповідних стандартах, якими користується конструктор не достатньо, що переноситься і у недостатність інформації на кресленні, та як наслідок часто призводить до появи браку при виготовленні. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на аналіз технічних вимог до ШКЗ, що вказуються конструктором на кресленнях та наданням чітких науково обґрунтованих рекомендацій щодо нанесення на креслення технічних вимог та параметрів ШКЗ.

#### Список використаних джерел

1. Huyett G.L. Taper Pin Features [Electronic resource] / Huyett G.L. – 2021. Asses mode: <http://www.huyett.com/blog/taper-pin-features>.
2. Дегтярев И. М. Проблемы применения штифтовых конических соединений при проектировании и изготовлении насосного оборудования / И. М. Дегтярев // Нешта А. А. Прогресивна техніка, технологія та інженерна освіта: тези доповідей / А. А. Нешта, Н. Ф. Самардак. – К.: НТУУ КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С. 97-100.
3. Truong A., Pham C. Numerical modelling of power-actuated fastener connections joining high-strength steel sheet to mild steel plate subjected to monotonic shear / A. Truong, C. Pham // Thin-Walled Structures. – 2021. – Vol. 165. – Pp. 107950-107962.
4. Nouri F. Finite element modelling of steel-timber composite beam-to-column joints with nominally pinned connections / F. Nouri, H. Valipour, M. Bradford // Engineering Structures. – 2019. – Vol. 201. – Pp. 109854-109872.
5. Foust B. Inverse Stress Analysis of Pinned Connections Using Strain Gages and Airy Stress Function / B. Foust, R. Rowlands // International Symposium on Inverse Problems in Engineering Mechanics (ISIP 2003). – Nagano, Japan, 2003. – Pp. 323-332.
6. Karlsen O. Questionnaire-based survey of experiences with the use of expanding PIN systems in mechanical joints / O. Karlsen, H. Lem // Results in Engineering. – 2021. – Vol. 9. – Pp. 100212-100223.

7. Arenas J. Design, manufacturing and testing of hybrid adhesive joints with metallic pins to join steel with fiberglass reinforced composite / J. Arenas, J. Suárez, E. Gavrilenko, C. Alía // *Procedia Manufacturing*. – 2019. – Vol. 41. – Pp. 500-507.

8. Sadowski T. The Influence of Hybrid Material Parameters in Socked-pin Connection on the Value of Opening Force / T. Sadowski, P. Golewski, V. Radoiu // *Solid State Phenomena*. – 2016. – Vol. 254. – Pp. 1-7.

9. Kraus M. Potential of Joining Dissimilar Materials by Cold Formed Pin-Structures / M. Kraus, M. Merklein // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2020. – Vol. 283. – Pp. 116697-116710.

10. Дегтярев И. М. К вопросу об области применения различных конструкций штифтовых соединений в машиностроении / И. М. Дегтярев // Нешта А. А. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2020: тези доповідей / А. А. Нешта, Н. Ф. Самардак. – Чернігів: Національний університет «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 180-183.

11. Дегтярьов І. М. Порівняльний аналіз конструкцій конічних та циліндричних штифтових з'єднань / І. М. Дегтярьов // Нешта А. О. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем – 2021: тези доповідей / А. О. Нешта, М. П. Самардак, І. С. Парфенцев. – Чернігів: Національний університет «Чернігівська політехніка», 2020. – С. 150-151.

12. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3 т. / В. И. Анурьев. – Москва: Машиностроение, 2015. – Т. 1. – 920 с.

### References

1. Huyett, G.L. (2021). *Taper Pin Features*. <http://www.huyett.com/blog/taper-pin-features>.
2. Dehtiarov, I., (2020). Problemy primeneniia shtiftovykh konicheskikh soedinenii pri proektirovanii i izgotovlenii nasosnogo oborudovaniia [Problems of using pin conical connections in the design and manufacture of pumping equipment]. In A. Neshta, N. Samardak, *Prohresyvnna tekhnika, tekhnolohiia ta inzhenerna osvita [Progressive technology, technology and engineering education]*. NTUU KPI im. Ihoria Sikorskoho.
3. Truong, A., & Pham, C. (2021). Numerical modelling of power-actuated fastener connections joining high-strength steel sheet to mild steel plate subjected to monotonic shear. *Thin-Walled Structures*, 165, 107950-107962.
4. Nouri, F., Valipour, H., & Bradford, M. (2019). Finite element modelling of steel-timber composite beam-to-column joints with nominally pinned connections. *Engineering Structures*, 201, 109854-109872.
5. Foust, B., & Rowlands, R. (2003) Inverse Stress Analysis of Pinned Connections Using Strain Gages and Airy Stress Function. *International Symposium on Inverse Problems in Engineering Mechanics* (pp. 323-332).
6. Karlson, O., & Lem, H. (2021) Questionnaire-based survey of experiences with the use of expanding PIN systems in mechanical joints. *Results in Engineering*, 9, 100212-100223.
7. Arenas, J., Suárez, J., Gavrilenko, E., & Alía, C. (2019). Design, manufacturing and testing of hybrid adhesive joints with metallic pins to join steel with fiberglass reinforced composite. *Procedia Manufacturing*, 41, 500-507.
8. Sadowski, T., Golewski, P., & Radoiu, V. (2016). The Influence of Hybrid Material Parameters in Socked-pin Connection on the Value of Opening Force. *Solid State Phenomena*, 254, 1-7.
9. Kraus, M., Merklein, M. (2020). Potential of Joining Dissimilar Materials by Cold Formed Pin-Structures. *Journal of Materials Processing Technology*, 283, 116697-116710.
10. Dehtiarov, I., Neshta, A., & Samardak, N. (2020). K voprosu ob oblasti primeneniia razlichnykh konstruktsii shtiftovykh soedinenii v mashinostroenii. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnikh protsesiv ta sistem – 2020 [On the question of the field of application of various designs of pin joints in mechanical engineering. Complex safekeeping of technological processes and systems - 2020]* (pp. 180-183).
11. Dehtiarov I., Neshta A., Samardak N., Parfentsev I. (2021) *Porivnialnyi analiz konstruktsii konichnykh ta tsylindrychnykh shtyftovykh ziednan. Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnikh protsesiv ta sistem – 2020 [Comparative analysis of the design of conical and cylindrical pin joints. Complex safekeeping of technological processes and systems - 2020]* (pp. 150-151).
12. Anuriev V. I. (2015) *Spravochnik konstruktora-mashinostroitelia [Handbook of the constructor-mechanical engineer]*. (Vol. 1). Mashinostroenie.

Отримано 15.08.2021

UDC 621.886.1

**Ivan Dehtiarov<sup>1</sup>, Anna Neshta<sup>2</sup>, Mykola Samardak<sup>3</sup>, Vitalii Kononovych<sup>4</sup>,  
Pavlo Kushnirov<sup>5</sup>, Vadim Baha<sup>6</sup>, Yaroslav Klok<sup>7</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools  
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

**E-mail:** [ivan\\_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:ivan_dehtiarov@tmvi.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8535-987X>

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools  
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

**E-mail:** [anna\\_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:anna_neshta@tmvi.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4072-5439>

<sup>3</sup>Engineer

PAO «Sumy plant «Nasosenergomash» (Sumy, Ukraine)

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

<sup>4</sup>PhD Student of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools  
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

**E-mail:** [v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:v.kononovych@tmvi.sumdu.edu.ua)

<sup>5</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Manufacturing Engineering,  
Machines and Tools

Sumy State University (Sumy, Ukraine)

**E-mail:** [p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua](mailto:p.kushnirov@tmvi.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5894-538X>

<sup>6</sup>PhD in Technical Science, Senior Lecturer of Technical Thermophysics Department  
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

**E-mail:** [v.baga@kttf.sumdu.edu.ua](mailto:v.baga@kttf.sumdu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0131-631X>

<sup>7</sup>Student of Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools  
Sumy State University (Sumy, Ukraine)

**E-mail:** [yarikklok11@gmail.com](mailto:yarikklok11@gmail.com)

## **ANALYSIS OF APPLICATION OF STRUCTURES AND CONTACT AREA OF TAPERED PINS WITH TAPER 1:50**

*There is currently no alternative to the use of tapered pins in the manufacture and assembly of parts and assemblies where high accuracy of mutual placement is required, as well as the ability to perform quick assembly and disassembly while maintaining the initial accuracy parameters. Tapered pins with a taper of 1:50 have become especially widely used due to their design features.*

*At the moment, the operational adaptability of the design comes to the fore for the customer, in which tapered pin is one of the main components of the product quality as a whole. However, during production in enterprises, due to the lack of information on the working and assembly drawings of parts containing tapered pins, as well as other related factors, situations often arise with the occurrence of defects in this connection.*

*A review of recent research and publications on the analysis of geometric parameters and properties of tapered pins has shown that the analysis of the contact area in the connection, to date, little attention is paid in scientific papers and literature used by designers in the design of components containing pins with a taper of 1:50.*

*The aim of the article is to establish the type of contact in tapered pins with a taper of 1:50 depending on the tolerances on the diametrical and angular dimensions of a hole and a pin.*

*Based on the analysis of geometric parameters in the contact area of tapered pins, the types of contacts are established and for the first time the geometric dependence of the deviation of a hole angle under the pin on the tolerances on the parameters of conical scans is presented. Graphs of the deviation of hole angles and pins of accuracy classes A and B used in tapered pins are obtained from their nominal value, as well as the size of the diametrical gap on the larger diameter of the pin depending on the nominal diameter of the connection. These graphs can be used by the designer as reference recommendations when designing assemblies containing pins with a taper of 1:50. The values of the total relative error of deviation of a hole and pin angles from the nominal value for all standard diameters of tapered pins are determined.*

**Keywords:** pump production; accuracy class; tolerance; design documentation; nominal size.

**Table:** 1. **Fig.:** 11. **References:** 12.

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-38-44

УДК 531.3:621.8

**Сергій Подлесний<sup>1</sup>, Микола Дорохов<sup>2</sup>, Юрій Єрфорт<sup>3</sup>, Олександр Стадник<sup>4</sup>**<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної механіки

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: [sergeypodlesny@gmail.com](mailto:sergeypodlesny@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8271-4004><sup>2</sup>кандидат технічних наук, завідувач кафедри підйомно-транспортних машин

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: [dorokhovptmddma@gmail.com](mailto:dorokhovptmddma@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5458-4211><sup>3</sup>доцент кафедри технічної механіки

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: [yuriy.erfort@gmail.com](mailto:yuriy.erfort@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7982-8446><sup>4</sup>старший викладач кафедри технічної механіки

Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

E-mail: [anstadnik54@gmail.com](mailto:anstadnik54@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3439-6977>

## ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА ЗМІННОЇ ДОВЖИНИ

Розглянуто задачу руху маятника змінної довжини, який являє собою вантаж із точковою масою, який здійснює 2D коливання на невагомому гнучкому канаті, що намотують на біциліндро-конічний барабан, який обертається навколо власної осі. Отримана математична модель системи, визначені рівняння руху і співвідношення між кутовими та декартовими координатами. Складена програма й виконаний числовий експеримент. Отримані залежності від часу лінійних та кутових переміщень та швидкостей, побудовані відповідні графіки, фазові портрети та траєкторія руху вантажу. Знайдено величину натягу підйомного канату.

**Ключові слова:** нелінійна динаміка; коливання; маятник; біциліндро-конічний барабан; рівняння Лагранжа 2-го роду; математична модель; числовий експеримент; фазова траєкторія.

Рис.: 8. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Триваючий інтерес до вивчення маятникових систем пояснюється тим, що вивчення їхніх рухів виявляє багато якісних властивостей динаміки нелінійних систем і викликає як самостійний інтерес у сучасних дослідників, так і у прикладних задачах, коли плоскі рухи досліджуваних систем і об'єктів при різних спрощеннях моделюють математичним маятником. Вони можуть демонструвати істотно нелінійну й досить різноманітну поведінку та часто використовуються як джерело модельних задач для розвитку і вивчення методів нелінійного управління. Завдання ефективності, керованості, продуктивності, точності позиціонування і безпеки були й залишаються актуальними при експлуатації вантажопідйомного обладнання в будівельних і промислових областях. Математичні моделі маятникових систем служать для опису широкого класу процесів. Багато об'єктів у силу своєї динаміки являють собою різні види маятникових установок (а в деяких випадках і їх комбінацію), причому вимога стійкості є обов'язковою вимогою їх експлуатації. Насамперед це відноситься до різного виду вантажопідйомних механізмів, таких як баштові, мостові, козлові, консольні, порталні й інші крани. У зв'язку з вищевикладеним дослідження поведінки складних маятникових систем, таких як рух вантажу при спільній роботі вантажопідйомних механізмів є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Несталі перехідні режими роботи підйомних механізмів супроводжуються зміною енергосилових параметрів механічної системи, від яких залежать експлуатаційні характеристики і продуктивність. У деяких підйомних механізмах може використовуватися барабан із конічною поверхнею для намотування каната, що істотно ускладнює кінематику й динаміку руху вантажу, який коливається, що вимагає окремого дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження у сфері моделювання маятникових систем із використанням різних пакетів прикладних програм комп'ютерної алгебри продовжуються і не припиняються. Наприклад, розглядалися різні моделі сферичного маятника [1-2], коливання маятника змінної довжини [3] і змінної маси [4]. У науковій літературі є досить багато прикладів механічних систем, де розглядається коливання вантажу в вантажопідйомних механізмах [5-9].

У роботі [10] досліджується рух оборотного математичного маятника зі змінною довжиною нитки. У розвиток цього дослідження пропонується розглянути ускладнену механічну систему, більш наближену до систем вантажопідйомних машин.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Задача дослідження руху вантажу, що розгойдується під час намотування каната на конічний барабан раніше не розглядалася.

**Мета роботи** полягає у створенні математичної моделі, встановленні основних закономірностей і дослідженні коливального руху вантажу з точковою масою, яка здійснює плоскі коливальні рухи на невагомому гнучкому тросі, що намотують на біциліндро-конічний барабан, що обертається.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо підйом вантажу у вигляді судини (скіпа) під час намотування каната на конічну ділянку біциліндро-конічного барабана (рис. 1), якщо відомі радіуси  $R_1$  і  $R_2$ , число витків  $z$  каната на конічній ділянці й кутова швидкість барабана  $\omega = const$ .

Поточний радіус намотування каната збільшується прямо пропорційно куту повороту барабана:  $R = R_1 + k\theta$ . Величину коефіцієнта пропорційності  $k$  визначимо з умови задачі. При намотуванні  $z$  витків на конічну ділянку барабана радіус намотування збільшується з  $R_1$  до  $R_2$ , а кут повороту барабана становить  $\theta = 2\pi z$ . Тоді

$$R_2 = R_1 + 2k\pi z.$$

Звідки

$$K = (R_2 - R_1) / (2\pi z).$$

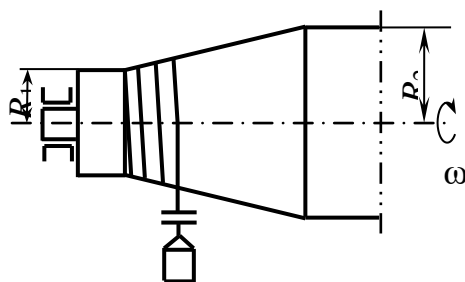


Рис. 1. Підйом скіпа під час намотування каната на конічну ділянку біциліндро-конічного барабана

Оскільки  $\omega = const$ , то  $\theta = \omega t$  і формула для визначення поточного радіуса намотування приймає такий вид:

$$R = R_1 + (R_2 - R_1) \omega t / (2\pi z). \tag{1}$$

Швидкість скіпа, дорівнює окружній швидкості барабана в точці укладання каната,

$$v = \omega R = \omega [R_1 + (R_2 - R_1) t / (2\pi z)].$$

Інтегруючи вираз  $ds = v dt$ , знаходимо переміщення скіпа (закон руху):

$$\int_{s_0}^s ds = \int_0^t v dt; \quad s - s_0 = \int_0^t \omega [R_1 + (R_2 - R_1) \omega t / (2\pi z)] dt;$$

$$s = s_0 + \omega R_1 t + (R_2 - R_1) \omega^2 t^2 / (4\pi z).$$

Прискорення скіпа

$$a = \dot{v} = \frac{d}{dt} (\omega R) = \omega \frac{dR}{dt} = \omega \frac{d}{dt} \left( R_1 + \frac{R_2 - R_1}{2\pi z} \theta \right) = \frac{R_2 - R_1}{2\pi z} \omega^2.$$

Час одного обороту барабана  $t_{об} = 2\pi/\omega$ ; повний час руху  $T = t_{об} z = 2\pi z / \omega$ .

Висота підйому скіпа за час  $T$ :

$$h = s - s_0 = (\omega R_1 T + (R_2 - R_1) \omega^2 T^2 / (4\pi z)) =$$

$$= \omega R_1 (2\pi z / \omega) + (R_2 - R_1) \omega^2 (2\pi z / \omega)^2 / (4\pi z) = \pi z (R_1 + R_2).$$

Задача значно ускладнюється якщо під час підйому вантаж буде здійснювати коливальний рух. Це можливо з різних причин. Вважатимемо, що коливальний рух вантажу відбувається паралельно площині перпендикулярній осі барабана (рис. 2). Вантаж вважаємо точковою масою. Розглянемо випадок, коли початковий кут  $\varphi_0 \neq 0$  і початкова кутова швидкість точкового вантажу на канаті  $\Omega_0 \neq 0$ . Початкова довжина звисаючої частини троса у стані спокою дорівнює  $\ell_0$  ( $\ell_0 > h$ ).

Декартові координати матеріальної точки М:

$$x = R \cos \varphi + (\ell_0 + R\varphi - R\omega t) \sin \varphi, \quad (2)$$

$$y = -R \sin \varphi + (\ell_0 + R\varphi - R\omega t) \cos \varphi. \quad (3)$$

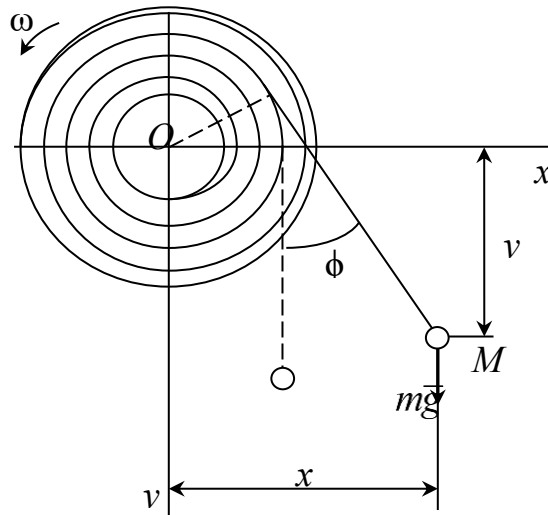


Рис. 2. Розрахункова схема підйому скіпа під час намотування каната на конічну ділянку біциліндро-конічного барабана.

Кінетична  $T$  і потенціальна  $\Pi$  енергії визначаються формулами:

$$T = \frac{mv^2}{2}, \quad \Pi = mg(\ell_0 - y).$$

Швидкість матеріальної точки М:

$$v = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}.$$

Лагранжиан системи:

$$L = T - \Pi,$$

або в розгорнутому вигляді

$$L = \frac{1}{2\pi z} m (g(-2\pi R_1 z + (R_1 - R_2)t\omega) \cdot \sin \varphi + g \cdot \cos \varphi \cdot (2\ell_0 \pi z + t\omega(-2\pi R_1 z + (R_1 - R_2)t\omega) + (2\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega)\varphi) + 2\pi z(-g\ell_0 + \frac{1}{2\pi z}(-2\omega(\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega) \cdot \sin \varphi + (R_2 - R_1)\omega\varphi \cdot \sin \varphi + (-2\pi R_1 z + (R_1 - R_2)t\omega) \cdot \cos \varphi \cdot (t\omega - \varphi)\varphi' + \cos \varphi \cdot ((R_2 - R_1)\omega + 2\ell_0 \pi z \varphi')t^2)).$$

Для запису рівняння руху маятника скористаємося рівнянням Лагранжа 2-го роду. Як узагальнену координату візьмемо кут  $\varphi$  відхилення маятника від вертикалі, тоді

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\varphi}} \right) - \frac{\partial L}{\partial \varphi} = 0. \quad (4)$$

Використовуючи формули (1)-(4), отримаємо диференціальне рівняння руху маятника:

$$-\frac{1}{2\pi z} m (g(2\ell_0 \pi z + t\omega(-2\pi R_1 z + (R_1 - R_2)t\omega)) \cdot \sin \varphi + g(2\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega) \cdot \varphi \cdot \sin \varphi - 2\pi z(-2\omega(\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega) \cdot \sin \varphi + (R_2 - R_1)\omega \cdot \varphi \cdot \sin \varphi + (-2\pi R_1 z +$$



$$(R_1 - R_2)t\omega \cdot \cos\varphi \cdot (t\omega - \varphi) \cdot \varphi' + \cos\varphi \cdot ((R_2 - R_1)\omega + 2l_0\pi z \cdot \varphi')t \frac{1}{2\pi z} (2\omega(-\pi R_1 z + (R_1 - R_2)t\omega) \cdot \cos\varphi + ((2\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega) \cdot \cos\varphi + (-2l_0\pi z + t\omega(2\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega)) \cdot \varphi' \cdot \sin\varphi) + \varphi((R_2 - R_1)\omega \cdot \cos\varphi - (2\pi R_1 z + (R_2 - R_1)t\omega) \cdot \varphi' \cdot \sin\varphi))t = 0.$$

Знаючи швидкість вантажу за допомогою принципу Даламбера, можна знайти натяг підйомного канату в будь-який момент часу:

$$N = mg \cdot \cos\varphi + m \cdot \left(\frac{y}{\cos\varphi} + R \cdot \tan\varphi\right) \cdot \dot{\varphi}^2.$$

Задаючи чисельні значення параметрів системи й початкові умови:  $l_0 = 16$  м,  $R_1 = 0,1$  м,  $R_2 = 0,4$  м,  $z = 12$ ,  $\omega = 0,2$  рад./с,  $m = 1000$  кг,  $\varphi_0 = 0,1$  рад.,  $\dot{\varphi}_0 = 0,1$  с<sup>-1</sup>; виконаємо розрахунки та побудуємо графіки при підйомі вантажу.

При заданих параметрах  $T = 377$  с,  $h = 11,3$  м.

На рис. 3-8 представлені графіки зміни окремих параметрів руху системи.

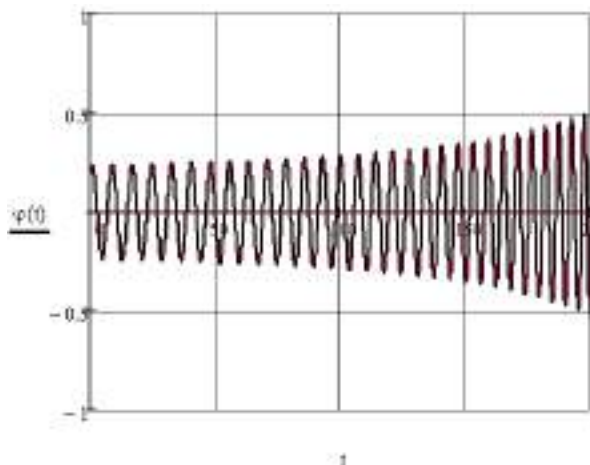


Рис. 3. Графік залежності  $\varphi(t)$

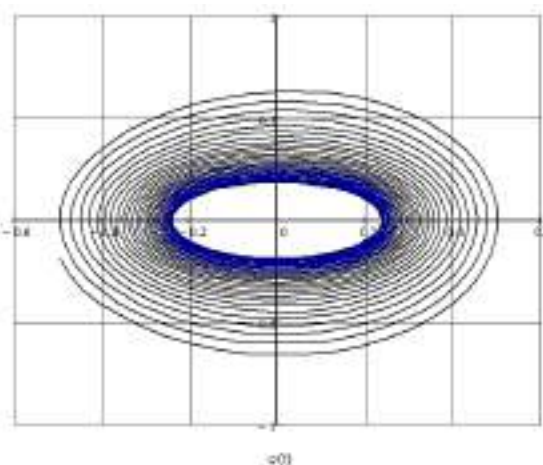


Рис. 4. Фазова траєкторія:  $\Omega(t)-\varphi(t)$

Кутова швидкість  $\Omega = \dot{\varphi}(t)$ .

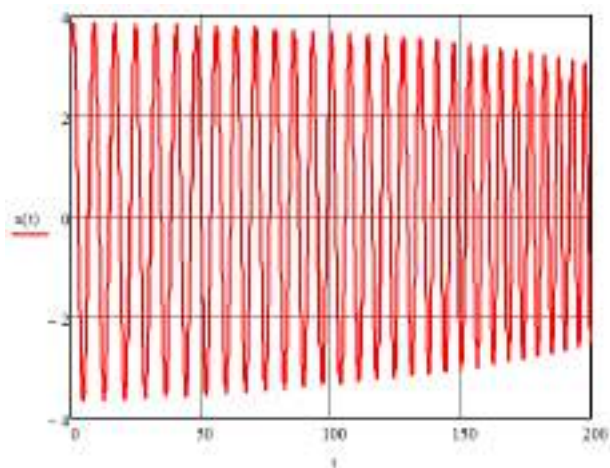


Рис. 5. Графік залежності  $x(t)$

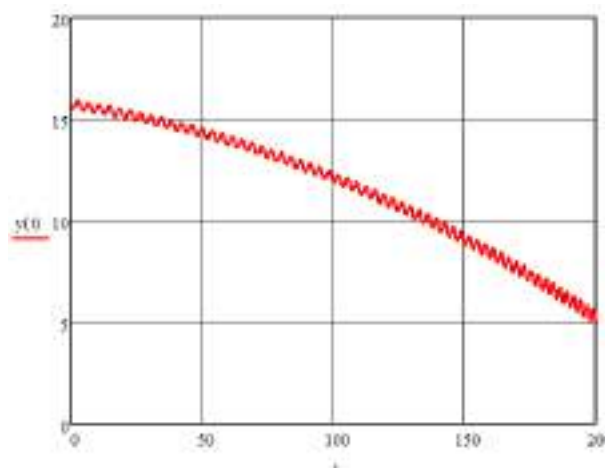
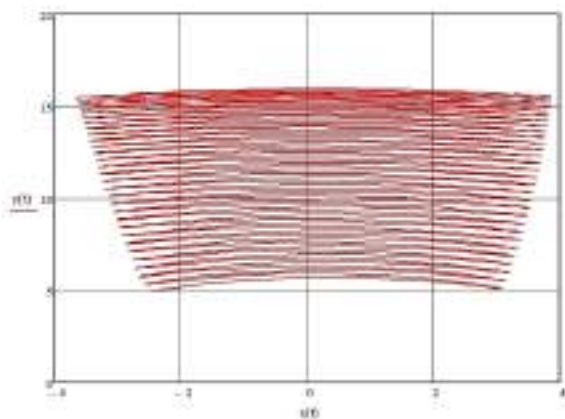
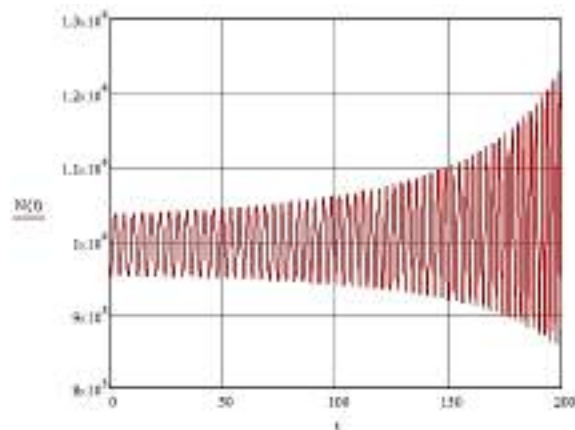


Рис. 6. Графік залежності  $y(t)$

Рис. 7. Траєкторія руху вантажу:  $x(t)$ - $y(t)$ Рис. 8. Графік зміни натягу канату  $N(t)$ 

Аналізуючи отримані результати, можна зазначити, що узагальнена й лінійні координати (рис. 3, 5, 6) змінюються за гармонічним законом. Періоди горизонтальних і вертикальних коливань різні. Вертикальний рух відбувається з частотою, приблизно вдвічі більшою, ніж горизонтальний рух. Це добре видно на (рис. 5 та 6). Відзначимо, що період горизонтальних коливань залежить від довжини маятника і в першому наближенні не залежить від амплітуди.

Фазовою траєкторією узагальненої координати  $\varphi$  є фокус, який розкручується (рис. 4).

Рисунок 8 наглядно показує збільшення натягу каната зі зростанням швидкості вантажу. Наприклад, на двохсотій секунді натяг канату приблизно на чверть більше ваги вантажу.

**Висновки.** У результаті розв'язання оберненої задачі динаміки за допомогою рівнянь Лагранжа 2-го роду отримана математична модель руху маятника змінної довжини і з точковою масою, який здійснює плоскі коливальні рухи на невагомому гнучкому канаті, що намотують на біциліндро-конічний барабан, який обертається навколо власної осі, враховує особливості нелінійності системи і містить параметри, що описують її рух. Проінтегровано нелінійне диференціальне рівняння руху за допомогою ЕОМ та отримано залежність від часу координат та швидкості вантажу. Побудована фазова траєкторія при підйомі вантажу. Фазова траєкторія узагальненої координати  $\varphi$  є фокус, який при підйомі розкручується в зв'язку з нелінійністю системи. Положення вантажу, його швидкість та прискорення дозволяють знайти величину натягу підйомного канату у будь-який момент часу. Натяг діє як на вантаж, так і на барабан, що дозволяє визначити безпечні режими підйому вантажу та навантаження на привід механізму. Дослідження проводилось за нелінійною моделлю без використання асимптотичних методів, що дозволило виключити методологічну похибку рішення. Отримані результати можуть бути використані при моделюванні керованих маятникових рухів різних механічних систем. Методика і програма рекомендуються для вирішення прикладних завдань проєктування і експлуатації різних підйомно-транспортних систем і технічних пристроїв, здатних демонструвати складну поведінку. У методичному плані пропонується матеріал цікавий для студентів і аспірантів у плані навчання принципам побудови та аналізу складних нелінійних динамічних систем.

### Список використаних джерел

1. Podlesny S. Dynamics of a spherical pendulum on a nonlinear elastic suspension under the action of a variable side aerodynamic load / S. Podlesny // *Visnyk TNTU (Tern.)*. – 2020. – Vol. 98, № 2. – Pp. 49-58.
2. Freundlich J. Dynamics of a coupled mechanical system containing a spherical pendulum and a fractional damper [Electronic resource] / J. Freundlich, D. Sado // *Physics. Meccanica*. – 2020. – Vol. 55. – Pp. 2541–2555. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11012-020-01203-4>.
3. Зінько Р. Маятник змінної довжини [Електронний ресурс] / Р. Зінько. – Режим доступу: <http://www.zinko.lviv.ua/index.php?artid=1472900553>.

4. Ольшанский С. В. Нестационарные колебания осциллятора переменной массы с учётом вязкого трения / С. В. Ольшанский // Вібрації в техніці та технологіях. – 2014. – № 3 (75). – С. 18-27.
5. Ловейкін В. Динамічний аналіз переміщення візка вантажопідйомного крана зі зміщеним центром мас вантажу відносно захвату / В. Ловейкін, П. Лимар // Вісник ТНТУ. – 2014. – Том 73, № 1. – С. 102–109.
6. Research into 2D dynamics and control of small oscillations of a cross-beam during transportation by two overhead cranes [Electronic resource] / A. V. Perig, A. N. Stadnik, A. A. Kostikov, S. V. Podlesny // Shock and Vibration. – 2017. – Access mode: <http://downloads.hindawi.com/journals/sv/2017/9605657.pdf>.
7. Ловейкін В. С. Оптимізація режиму руху механізму зміни вильоту вантажу баштового крана з горизонтальною стрілою / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич, О. В. Стехно // Машинобудування. – 2017. – № 20. – С. 11-18.
8. Подоляк О. С. Математичне моделювання сумісного руху механізмів підйому, повороту і зміни вильоту крана ДЕК-251 / О. С. Подоляк, М. О. Бولیбік // Машинобудування. – 2017. – № 19. С. 61-67.
9. Паламарчук Д. А. Исследование динамики движения стреловой системы крана при автоматическом управлении механизмом изменения вылета / Паламарчук Д. А. // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки». 2014. Вип. 3(67). С. 361-370.
10. Булатов Л. А. Исследование движения обратного математического маятника с изменяющейся длиной нити / Л. А. Булатов, В. Д. Бертяев, А. Е. Киреева // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2010. – Вып. 2, ч. 1. – С. 11-18.

### References

1. Podlesny, S. (2020). Dynamics of a spherical pendulum on a nonlinear elastic suspension under the action of a variable side aerodynamic load. *Visnyk TNTU (Tern.) – Bulletin of TNTU*, 98(2), 49-58.
2. Freundlich, J., Sado, D. (2020). Dynamics of a coupled mechanical system containing a spherical pendulum and a fractional damper. *Physica. Meccanica*, 55, 2541–2553. <https://doi.org/10.1007/s11012-020-01203-4>.
3. Zinko, R. (n.d.). *Maiatnyk zminnoi dovzhyny [Pendulum of variable length]*. <http://www.zinko.lviv.ua/index.php?artid=1472900553>.
4. Olshanskyi, S.V. (2014). Nestatsionarnye kolebaniia ostsiillatora peremennoi massys uchetom viazkogo treniia [Nonstationary oscillations of an oscillator of variable mass taking into account viscous friction]. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh – Vibrations in engineering and technology*, (3(75)), 18-27.
5. Loveikin, V., Lymar, P. (2014). Dynamichnyi analiz peremishchennia vizka vantazhopidomnoho kрана zi zmishchenym tsentrom mas vantazhu vidnosno zakhvatu [Dynamic analysis of the movement of the truck crane with a shifted center of mass of the load relative to the grip]. *Visnyk TNTU – Bulletin of TNTU*, 73(1), 102–109.
6. Perig, A.V., Stadnik, A.N., Kostikov, A.A., Podlesny, S.V. (2017). Research into 2D dynamics and control of small oscillations of a cross-beam during transportation by two overhead cranes. *Shock and Vibration*. <http://downloads.hindawi.com/journals/sv/2017/9605657.pdf>.
7. Loveikin, V.S., Romasevych, Yu.O., Stekhno, O.V. (2017). Optymizatsiia rezhymu rukhu mekhanizmu zminy vylyotu vantazhu bashtovoho kрана z horyzontalnoiu striloiu [Optimization of the mode of movement of the mechanism of change of departure of cargo of the tower crane with a horizontal arrow]. *Mashynobuduvannia – Mechanical Engineering*, (20), 11-18.
8. Podoliak, O.S., Bolybik, M.O. (2017). Matematychnе modeliuвання сумісного руху механізмів підйому, повороту і зміни вильоту крана ДЕК-251 [Mathematical modeling of the joint movement of the mechanisms of lifting, turning and changing the departure of the crane DEK-251]. *Mashynobuduvannia – Mechanical Engineering*, (19), 61-67.
9. Palamarchuk, D.A. (2014). Issledovanie dinamiki dvyzheniia strelovoi sistemy kрана pri avtomaticheskomy upravlenii mekhanizmom izmeneniia vyleta [Investigation of the dynamics of the movement of the jib system of the crane with automatic control of the mechanism of change of departure]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu vodnoho hospodarstva ta pryrodokorystuvannia. Seriiia «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Sciences. Series "Technical Sciences"*, 3(67), 361-370.

10. Bulatov, L.A., Bertiaev, V.D., Kyreeva, A.E. (2010). Issledovanie dvizheniia oborotnogo matematicheskogo maiatnika s izmeniaiushcheisia dlinoi niti [Investigation of the motion of a reversible mathematical pendulum with varying thread lengths]. *Izvestyia TulHU. Tekhnicheskyye nauky – Izvestiia TulGU. Technical sciences*, 2(1), 11-18.

Отримано 30.08.2021

UDC 531.3:621.8

**Serhii Podliesnyi<sup>1</sup>, Mykola Dorokhov<sup>2</sup>, Yurii Yerfort<sup>3</sup>, Oleksand Stadnyk<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor of the Technical Mechanics Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [sergeypodlesny@gmail.com](mailto:sergeypodlesny@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8271-4004>

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Head of the Department of Lifting and Transport Machines  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [dorokhovptmddma@gmail.com](mailto:dorokhovptmddma@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5458-4211>

<sup>3</sup>Associate Professor of the Technical Mechanics Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [yuriy.erfort@gmail.com](mailto:yuriy.erfort@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7982-8446>

<sup>4</sup>Senior Lecturer of the Technical Mechanics Department  
Donbass State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

**E-mail:** [anstadnik54@gmail.com](mailto:anstadnik54@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3439-6977>

## STUDY OF OSCILLATIONS OF A PENDULUM OF VARIABLE LENGTH

*The problem of movement of a pendulum of variable length is considered in the article. The study of the movements of pendulum systems is relevant, as they can demonstrate significantly nonlinear and quite diverse behavior and are often used as a source of model problems for the development and study of nonlinear control methods. First of all, this applies to various types of lifting mechanisms.*

*Some lifting mechanisms use a bicylindro-conical drum to wind the rope, which significantly complicates the kinematics and dynamics of the oscillating load, which requires a separate study.*

*Analysis of scientific publications has shown that research in the field of modeling of complex nonlinear pendulum systems continues and does not stop.*

*The problem of studying the motion of a load that swings during the winding of a rope on a conical drum has not been considered before.*

*The purpose of the work is to create a mathematical model, establish the basic laws and study the oscillating motion of a load with point mass, which performs flat oscillating motions on a weightless flexible cable wound on a rotating bicylindrical-conical drum.*

*Using the Lagrange equations of the second kind, the second problem of dynamics is solved and a mathematical model of the considered mechanical system is obtained. The equation of motion and the relationship between angular and Cartesian coordinates are determined. A program was compiled and a numerical experiment was conducted. The model and the program make it possible to obtain the dependences of linear and angular displacements, as well as linear and angular velocities, and to construct appropriate graphs, phase portraits, and the trajectory of the load. The position of the load, its speed and acceleration make it possible to find the value of the lifting rope tension at any time. Tension acts on both the load and the drum, allowing you to determine the safe modes of lifting or lowering the load and the load on the drive mechanism. The study was performed on a nonlinear model without the use of asymptotic methods, which allowed to exclude the methodological error of the solution.*

*Having a mathematical model and calculation programs, it is possible to conduct further research of the considered system. The obtained formulas make it possible to design such pendulum systems with the most rational characteristics and the optimal ratio of design parameters. The obtained results can be used for modeling of controlled pendulum motions of different mechanical systems. The methodology and program are recommended for solving applied problems of design and operation of various hoisting and transport systems and technical devices capable of demonstrating complex behavior. The methodologically proposed material is interesting for students and graduate students in terms of teaching the principles of construction and analysis of complex nonlinear dynamical systems.*

**Keywords:** nonlinear dynamics; fluctuations; pendulum; bicylindro-conical drum; Lagrange equations of the second kind; mathematical model; numerical experiment; phase trajectory.

*Fig.: 8. References: 10.*

**Геннадій Пасов<sup>1</sup>, Наталія Сіра<sup>2</sup>, Олена Сліднікова<sup>3</sup>,  
Антоніна Кологойда<sup>4</sup>, Віра Мурашківська<sup>5</sup>**

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

**E-mail:** [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>. **Researcher ID:** N-4455-2014

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

**E-mail:** [nnserraya@gmail.com](mailto:nnserraya@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6242-5210>. **Researcher ID:** K-2658-2017

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

**E-mail:** [sliednikova@gmail.com](mailto:sliednikova@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5444-1747>. **Researcher ID:** N-4430-2015

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [kolohoida@gmail.com](mailto:kolohoida@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>. **Researcher ID:** I-1118-2014

<sup>5</sup>старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [vmurashkovska@gmail.com](mailto:vmurashkovska@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0556-8709>. **Researcher ID:** G-9757-2016

## **ВИВЧЕННЯ РІВНЯННЯ БЕРНУЛЛІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ (Анімаційний симулятор)**

*Для вивчення курсу гідравліки, а також інших дисциплін важливим є рівняння Бернуллі. При виконанні лабораторних робіт, при проектуванні гідравлічних систем використовують це рівняння. Його складові мають розмірність напору, тиску або питомої енергії. Програмний продукт призначений для імітаційного виконання лабораторних робіт з основних розділів гідромеханіки. Методики виконання лабораторних робіт в оболонці комп'ютерної програми передбачають знайомство з фізичним явищем і його теоретичне вивчення, ознайомлення з пристроєм і принципом дії експериментальних установок. Наочна візуалізація з інтерактивністю сприяє ефективному засвоєнню навчального матеріалу.*

*Ця стаття є науково-методичною.*

**Ключові слова:** навчальний процес; гідравліка; рівняння Бернуллі; моделювання; симулятор.

*Рис.: 11. Табл.: 1. Бібл.: 10.*

**Актуальність теми дослідження.** У сучасному суспільстві використання комп'ютерів знаходить дедалі нові можливості. Важко уявити, що інженерні розрахунки, керування сучасною технікою, виконання робіт з оптимізації, навчальний процес, наукові дослідження можливі без комп'ютерів. Вони допомагають людині досягти реальних результатів швидше, скоріше, а отже, більш ефективно.

Проте сама наявність комп'ютера, це пів справи. Потрібно мати ще й високоінтелектуальне програмне забезпечення, пакети прикладних програмних продуктів. Людина може використовувати комп'ютер як тренажер (наприклад, при отриманні прав на керування автомобілем або літаком). Крім того, комп'ютерні техніку разом із відповідним програмним забезпеченням обов'язково можливо використовувати в навчальному процесі. Наприклад, анімаційні стенди для вивчення різноманітних процесів – лабораторні роботи з гідравліки, теорії різання, програмування верстатів із числовим програмним керуванням та інше.

**Постановка проблеми.** Основа будь-якого суспільства – це освіта. При вивченні дисциплін використовуються такі джерела інформації: підручники, навчальні посібники, збірники статей, інтернет-ресурси. Нині актуальним є використання комп'ютерів у навчальному процесі з високоінтелектуальними програмними продуктами [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Здобувачі вищої освіти технічних спеціальностей при засвоєнні навчальних дисциплін вивчають їх на лекційних, лабораторних та практичних заняттях. На цих заняттях часто використовують двовимірні та тривимірні зображення: ілюстрації будови, зовнішнього вигляду та конструкції різноманітних механізмів [2-5]. Для кращого розуміння процесу роботи різноманітних механізмів використовують комп'ютери та відповідні програмні продукти, це надасть навчальному процесу інтенсивності та інтерактивного змісту [6-9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** При вивченні навчальних дисциплін здобувачі вищої освіти різних напрямів навчання, зокрема «Галузеве машинобудування», «Автомобільний транспорт», «Технологія машинобудування», «Харчові технології» тощо вивчають закони гідромеханіки. Крім теорії, необхідно отримати і практичні навички, які здобувачі одержують на лабораторних заняттях.

При виконанні лабораторної роботи «Рівняння Бернуллі. Експериментальне вивчення гідравлічних опорів» здобувачам вищої освіти пропонується використовувати передові інформаційні технології, а саме анімаційний симулятор.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є пропозиція використання в навчальному процесі симулятора для вивчення рівняння Бернуллі.

**Виклад основного матеріалу.** У Національному університеті «Чернігівська політехніка» на кафедрі «Автомобільний транспорт та галузеве машинобудування» при вивченні навчальних дисциплін здобувачам різних напрямів навчання, зокрема «Галузеве машинобудування», «Автомобільний транспорт», «Технологія машинобудування», «Харчові технології» запропоновано використовувати навчальний симулятор для вивчення рівняння Бернуллі, розроблений фірмою SunSpire Art group [10].

Програмний продукт призначений для імітаційного виконання лабораторних робіт з основних розділів гідромеханіки. Методики виконання лабораторних робіт в оболонці комп'ютерної програми передбачають знайомство з фізичним явищем і його теоретичне вивчення, ознайомлення з пристроєм і принципом дії експериментальних установок, формулювання цілей, завдань і порядку виконання робіт. Наочна об'ємна візуалізація в сукупності з максимальною інтерактивністю сприяє ефективному засвоєнню навчального матеріалу.

Симулятор є комп'ютерним віртуальним тренажером, який призначений для проведення лабораторної роботи «Рівняння Бернуллі. Експериментальне вивчення гідравлічних опорів». Для коректної роботи програми до комп'ютера, на якому буде запускатися програма, висуваються певні системні вимоги [10].

Мета роботи симулятора полягає у визначенні досвідченим шляхом складових рівняння Д. Бернуллі для двох перерізів скляної трубки, а також втрати повного напорі між перетинами; обчислення середніх швидкостей потоку і відповідних їм швидкісних напорів для зазначених живих перетинів потоку рідини; побудові в масштабі за досвідченими даними п'єзометричної лінії та лінії повного напорі.

Для початку роботи зі симулятором потрібно запустити файл "SimulatorBERNULLI.exe".

Здобувачі вищої освіти бачать процес перетворення одного виду гідравлічної енергії в інший, при цьому увагу приділяють рівнянню Бернуллі загалом, а також його окремим складовим.

Основним законом гідравліки є рівняння Бернуллі, яке вивчається здобувачами вищої освіти. Його використовують при виконанні лабораторних робіт, практичних занять та курсових проєктів.

Рівняння гідродинаміки (руху ідеальної рідини) отримав та опублікував Даніель Бернуллі. Пізніше Леонард Ейлер отримав у сучасному вигляді диференціальне рівняння руху рідини.

Рівняння Бернуллі – це рівняння гідродинаміки, яке може бути записано для ідеальної або реальної рідини. Складові рівняння можуть мати різну розмірність: напорі, тиску, питомої енергії. Рівняння, записане у формі напорів (висоти підйому рідини у скляних трубках):

$$Z + \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} = \text{const}, \quad (1)$$

де  $Z$  – висота розташування перерізу, який розглядається;

$P$  – тиск;

- $g$  – прискорення вільного падіння;
- $\rho$  – густина рідини;
- $v$  – швидкість рідини.

Рідина показує всі три складові повного напору в тому випадку, якщо кінець трубки спрямований на зустріч потоку рідини. П'езометром називають трубку, якщо її кінець розташований нормально до лінії протікання рідини. У п'езометрі створюється гідростатичний напір; він менший та враховує тільки дві перші складові. Для визначення питомої енергії необхідно всі складові рівняння Бернуллі помножити на одиницю сили 1Н.

Якщо розглядати рух ідеальної рідини, то всі частинки мають однакові суми тиску, питомих енергій одиниці ваги в елементарному струмку. Якщо розглядати реальну рідину, то при її переміщенні частина енергії витрачається на подолання сил тертя, що виникають між елементами потоку, що рухаються з різними швидкостями.

Розглянемо частинку реальної рідини, яка розташована на лінії руху в перерізі 1-1 (рис. 1), а також у перерізі 2-2.

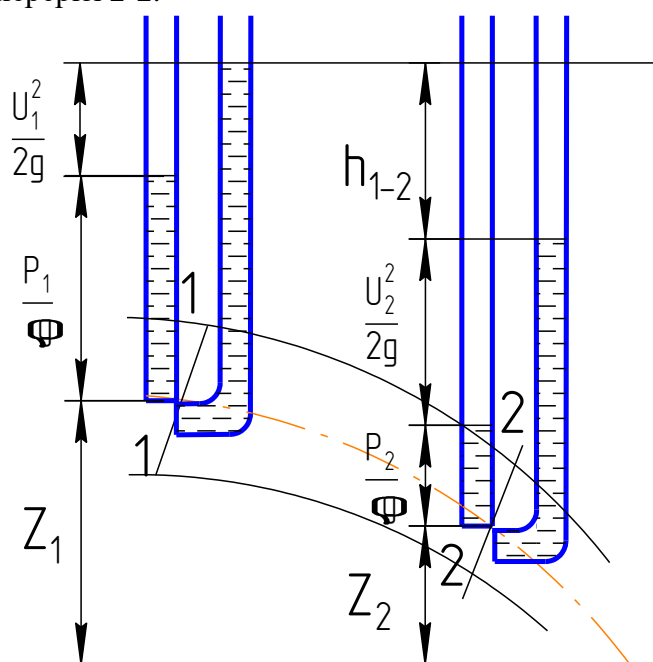


Рис. 1. Опис та схема установки для двох перерізів

Рівняння Бернуллі для двох перерізів 1-1, 2-2 має такий вид:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (2)$$

де  $h_{1-2}$  – питома енергія одиниці ваги рідини, яка витрачена на подолання сил тертя між перерізами 1-1 та 2-2.

Величина енергії, витраченої на подолання сил тертя рідини ( $h_{1-2}$ ) може бути визначена експериментально або розрахована.

Рівняння для трьох перерізів:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2} = Z_3 + \frac{P_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} + h_{1-3}, \quad (3)$$

де  $h_{1-3} = h_{1-2} + h_{2-3}$ .

Втрати напору рідини при її протіканні бувають по довжині і на місцевих опорах, рівняння Бернуллі дозволяє враховувати ці втрати.

На рис. 2 зображено експериментальну установку, яка складається з трьох баків, які з'єднані між собою трубою 5, яка нахилена на кут  $30^\circ$ , вона складається з трьох циліндричних ділянок та ділянок, що звужуються, а також з'єднані трубопроводами. Площі перерізів першої і третьої циліндричної ділянок 5 труби однакові, друга циліндрична ділянка має меншу площу перерізу.

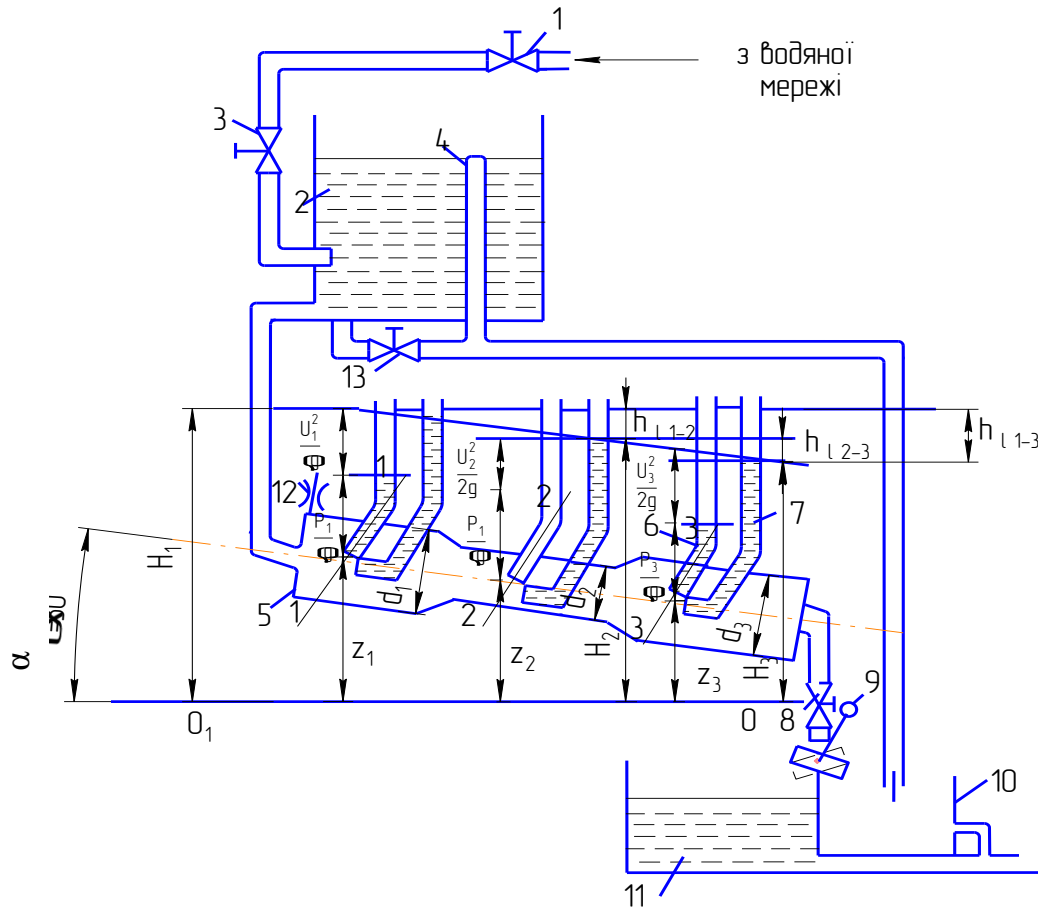


Рис. 2. Схема стенда

До кожної циліндричної ділянки труби 5 приєднані звичайна трубка 6 та трубка Піто 7. Усі трубки з'єднані зі скляними трубами синтетичними шлангами, скляні трубки закріплені на п'езометричній дошці, яка має шкалу поділок, за допомогою яких визначають величину підняття рідини в трубках (п'езометрах) від умовно прийнятої площини відліку (0-0).

У трубі 5 знаходиться вентиль 8, який призначений для регулювання витрат рідини. Для того щоб рідина текла, вентиль 8 відкривають, тоді рідина (вода) залежно від положення ручки перемикачання поступає в бак 10 або 11.

Рівняння нерозривності потоку рідини використовують для визначення швидкості рідини в перерізах, а також для її контролю.

Лабораторна робота виконується в такій послідовності:

1. Встановити постійний рівень рідини. Для цього необхідно видалити повітря з синтетичних шлангів за допомогою краників, які знаходяться на кожному зі шлангів. Після того як наповниться бак 2, необхідно перекрити вентиль 1.

2. Відкрити вентилі 1, 8 так, щоб витрат були мінімальні при русі води з баку 2 через трубу 5.



3. Стабілізувати рівні рідини в трубах повного напору та п'єзометричних трубах, записати отримані при експерименті значення рівня рідини (висоти) на п'єзометричній шкалі в таблицю протоколу лабораторної роботи для кожного перерізу трубки.

Таблиця

*Дані, що отримані при виконанні лабораторної роботи*

№ перерізу	Геометричний напір $Z$ , мм	П'єзометричний напір $P/\rho g$ , мм	Швидкісний напір $v^2/2g$ , мм	Статичний напір $Z + P/\rho g$ , мм	Витрати по довжині $h_{\text{в}}$ , мм	Середня швидкість $v$ , мм/хв.
1						
2						
3						

4. Повторити п. 3 декілька разів та записати отримані значення в таблицю.

5. Розрахувати за формулою (4) величину повного напору для кожного з трьох перерізів труби ( $H_1, H_2, H_3$ ), та записати значення в таблицю.

$$H = Z + \frac{P}{\rho g} \quad (4)$$

6. Розрахувати за формулою (5) середню швидкість ( $v_1, v_2, v_3$ ) руху потоку рідини в кожному перерізі труби.

$$v = \frac{Q}{S} \quad (5)$$

де  $Q$  – витрати рідини (об'єм, який витікає за час);

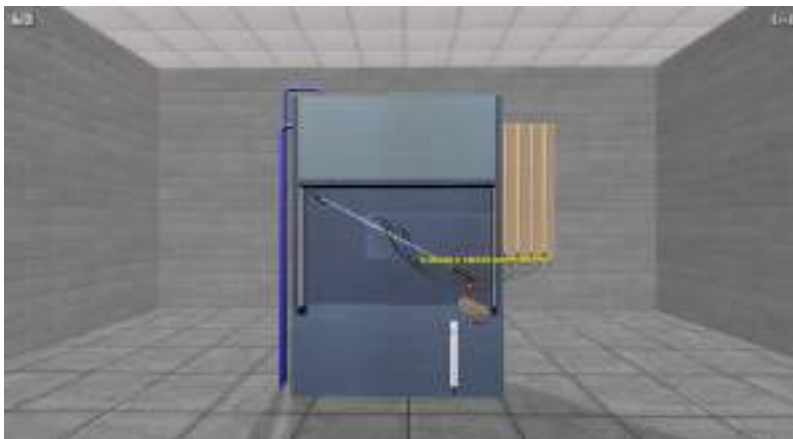
$S$  – площа перерізу, яка визначається за формулою  $S = \frac{\pi D^2}{4}$ .

7. Визначити втрати енергії на ділянці, що знаходиться між точками 1-2 ( $h_{1-2}$ ) та на ділянці, що знаходиться між точками 2-3 ( $h_{2-3}$ ). Розрахунки занести в таблицю.

8. Зробити розрахунок повної втрати енергії на ділянці, що знаходиться між точками 1-3.

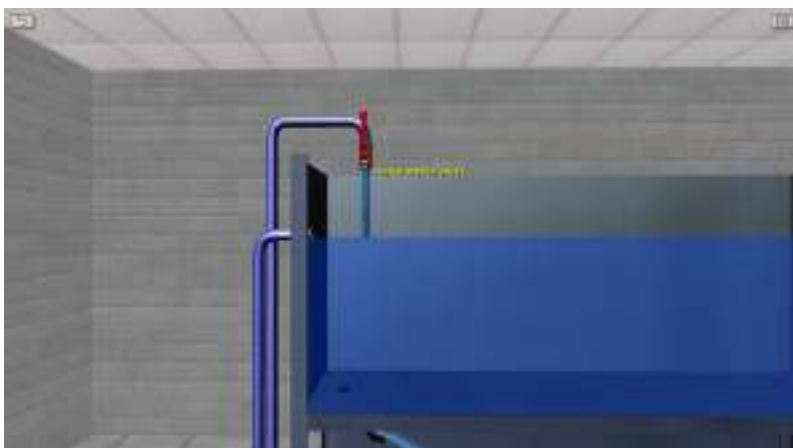
Усі вищенаведені дії виконуються на реальному лабораторному стенді. Проте, можливо, здобувач хоче ще раз провести цю лабораторну роботу, щоб вдосконалити свої знання, або бувають випадки, коли здобувач вищої освіти пропустив виконання цієї лабораторної роботи з поважних причин. Наприклад, хворів. Або навчання здійснюється дистанційно і здобувачі не мають можливість бути присутніми безпосередньо в реальній лабораторії. Саме в цих випадках і приходять на допомогу інформаційні технології. Наприклад, виконання цієї лабораторної роботи безпосередньо на комп'ютері з використанням анімаційного симулятора цієї лабораторної роботи.

На рис. 3 наведено загальний вигляд симулятора стенда для вивчення рівняння Бернуллі на початку роботи.



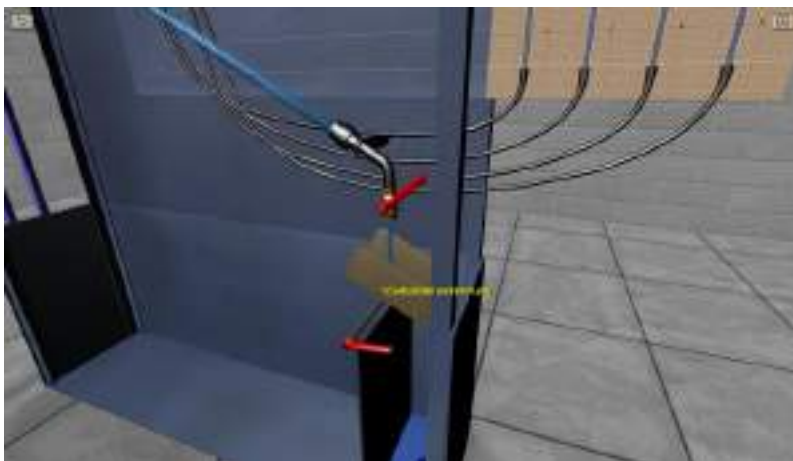
*Рис. 3. Загальний вигляд симулятора стенда (на початку роботи)*

На рис. 4 представлено, як верхній бак наповнюється рідиною за допомогою вентиля.



*Рис. 4. Схема наповнення верхнього бака за допомогою вентиля*

На рис. 5 представлено, як рідина може потрапляти зливні баки (правий або лівий) за допомогою вентиля керування.

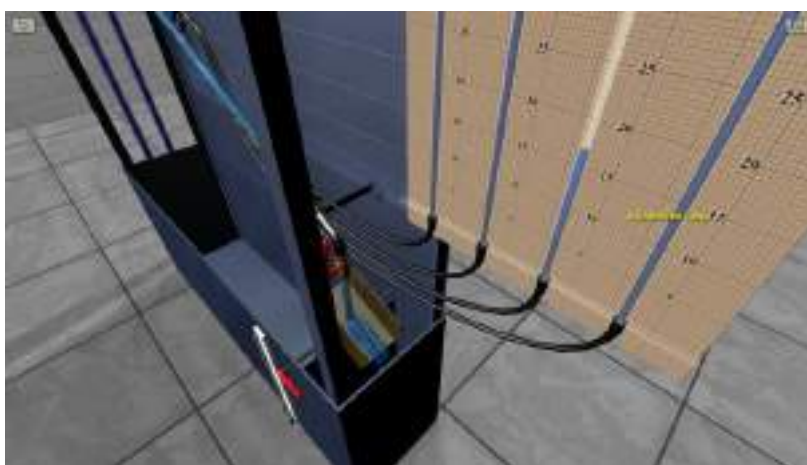


*Рис. 5. Схема зливу рідини у зливні баки*

На рис. 6 представлено як рідина відводиться за допомогою пари трубок з перерізів головної труби та потрапляє за допомогою гнучких шлангів до системи виміру (рис. 7).

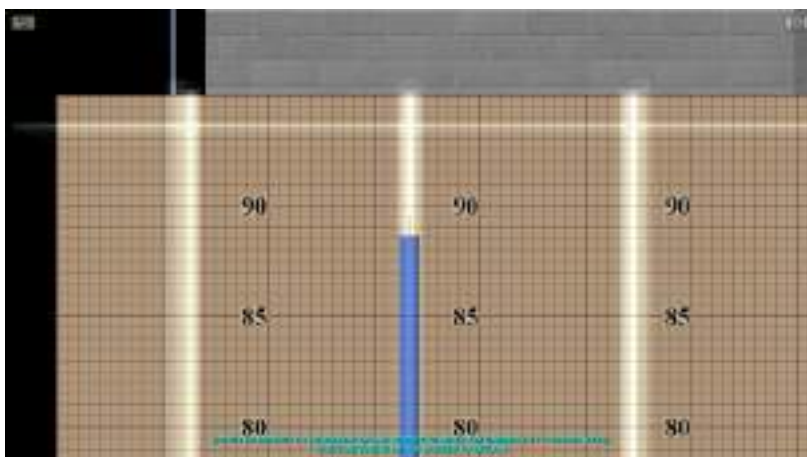


*Рис. 6. Схема відводу рідини з різних частин перерізі головної труби*



*Рис. 7. Схема підводу рідини до вимірювальної системи за допомогою гнучких шлангів*

На рис. 8 представлена система вимірювальної шкали.



*Рис. 8. Схема вимірювальної шкали*

На рис. 9 представлена система, яка дозволяє вимірювати об'єм рідини за заданий час.



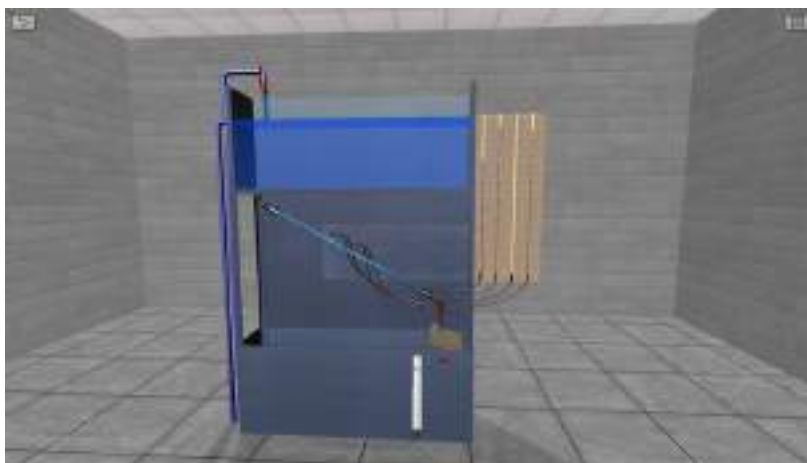
*Рис. 9. Схема системи для вимірювання об'єму рідини за заданий час*

На рис. 10 представлено момент здійснення вивчення рівняння Бернуллі на симуляторі лабораторної роботи.



*Рис. 10. Схема виконання лабораторної роботи (проміжний момент)*

На рис. 11 представлено момент закінчення виконання лабораторної роботи для подальшого опрацювання.



*Рис. 11. Загальний вигляд симулятора стенду (в кінці роботи)*

**Висновки.** Запропонований навчальний симулятор лабораторної роботи з вивчення рівняння Бернуллі дозволить краще зрозуміти процес, а також є більш наочним. Проте в цій програмі не можна уповільнити процес анімації експерименту. Було б добре, якщо цю функцію додали в її наступній версії.

### Список використаних джерел

1. Бочков В. М. Обладнання автоматизованого виробництва: навчальний посібник / В. М. Бочков, Р. І. Сілін. – Львів: Видавництво Державного університету «Львівська політехніка», 2000. – 380 с.
2. Грабченко А. И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования: учебное пособие / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
3. Маров М. Н. Энциклопедия 3ds max 8 (+CD) / М. Н. Маров. – СПб: Питер, 2010. – 1388 с.
4. Горелик А. Г. Основы моделирования и визуализации в 3ds max (в упражнениях) / А. Г. Горелик. – СПб: Питер, 2011. – 398 с.
5. Сахно Ю. О. Гідравліка і гідропневоавтоматика: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Ю. О. Сахно. – Чернігів: ЧДТУ, 2004. – 148 с.
6. Аббасов И. Б. Компьютерное моделирование в промышленном дизайне / И. Б. Аббасов. – СПб: Питер, 2013. – 92 с.
7. Михальченко Д. О. Анімаційне моделювання храпових механізмів для створення обертового переривчастого руху / Д. О. Михальченко // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених. – Чернігів: ЧНТУ, 2017. – С. 22-23.
8. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання механізмів для створення реверсивного, обертового руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега, А. В. Рудик // Технічні науки та технології. – 2016. – № 1(3). – С. 60–65.
9. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання гідроциліндрів та пневмокамер для створення прямолінійного поступального руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Технічні науки та технології. – 2018. – № 4(14). – С. 34–40.
10. Програмні продукти [Електронний ресурс] // Офіційний сайт SunSpire Art group. – Режим доступу: <http://www.sunspire.ru/products/cnc-simulator/>.

### References

1. Bochkov, V. M., & Silin, R. I. (2000). *Obladnannia avtomatyzovanoho vyrobnyctva [Equipment for automated production]*. Lviv Polytechnic.
2. Hrabchenko, A. Y., Dobroskok, V. L., Fedorovich, V. A. (2006). *3D modelirovaniealmazno-abrazivnykh instrumentov i protsessov shlifovaniia [3D modeling of diamond-abrasive tools and grinding processes]*. NTU «KhPI».
3. Marov, M. N. (2010). *Entsiklopediia 3ds max 8 (+CD) [Encyclopedia 3ds max 8 (+ CD)]*. Piter.
4. Horelyk, A. H. (2011). *Osnovy modelirovaniia i vizualizatsii v 3ds max (v uprazhneniakh) [Basics of modeling and rendering in 3ds max (in exercises)]*. Piter.
5. Sakhno Yu. O. (2004). *Hidravluka i hidropnevmoavtomatyka [Hydraulics and hydropneumatic automation]*. Chernihiv State Technological University.
6. Abbasov, I. B. (2013). *Kompiuternoe modelirovanie v promyshlennom dizaine [Computer modeling in industrial design]*. Piter.
7. Mykhalchenko, D. O. (2017). Animatsiine modeliuвання khrapovykh mekhanizmiv dlia stvorennia obertalnoho pereryvchastoho rukhu [Animation modeling of ratchet mechanisms to create a rotating intermittent motion]. Proceeding from *Novitni tekhnologii u naukovii diialnosti i navchalnomu protsesi: Vseukrainska naukovo-praktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh – Latest technologies in scientific activity and educational process: All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists* (pp. 22-23). Chernihivskiyi natsionalnyi tekhnolohichnyi universytet.
8. Pasov, H. V., Venzheha V. I. & Rudyk, A. V. (2016). Animatsiine modeliuвання mekhanizmiv dlia stvorennia reversyvnoho, obertalnoho rukhu [Animation simulation of reverse mechanism for creating rotary motion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (1(3)), 60-65.

9. Pasov, H. V., Venzheha V. I. (2018). Animatsiine modeliuvannia hidrotsylindriv ta pnevmokamer dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu [Animated modeling of hydraulic cylinders and pneumatic chambers to create a rectilinear translational motion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, (4(14)), 34–40.

10. Prohramni produkty [Software]. Ofitsiyni sait SunSpire Art group [Site of SunSpire Art group]. (n.d.). [www.sunspire.ru](http://www.sunspire.ru). <http://www.sunspire.ru/products/cnc-simulator/>.

Отримано 25.07.2021

UDC 621.22:004.94

**Hennadii Pasov<sup>1</sup>, Natalia Sira<sup>2</sup>, Olena Sliednikova<sup>3</sup>,  
Antonina Kolohoida<sup>4</sup>, Vira Murashkovska<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>. Researcher ID: H-4455-2014

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [nnserraya@gmail.com](mailto:nnserraya@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6242-5210>. Researcher ID: K-2658-2017

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

E-mail: [sliednikova@gmail.com](mailto:sliednikova@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5444-1747>. Researcher ID: N-4430-2015

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [kolohoida@gmail.com](mailto:kolohoida@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>. Researcher ID: I-1118-2014

<sup>5</sup>Senior Lecturer at the Department of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [vmurashkovska@gmail.com](mailto:vmurashkovska@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0556-8709>. Researcher ID: G-9757-2016

## STUDY OF THE BERNOULLI EQUATION USING INFORMATION TECHNOLOGIES (ANIMATION SIMULATOR)

*Computer equipment together with the corresponding software must be used in the educational process.*

*Currently, in the process of studying various disciplines, many sources of various information are used: textbooks, the Internet. In modern conditions, the use of computers in the educational process with highly intelligent software products opened wide opportunities.*

*The student must study it in lectures, laboratory and practical classes. It is the use of computers and related software products that allows us to improve the educational process, providing it with intensity and interactive content.*

*When studying academic disciplines, applicants for the laws of hydromechanics. When performing the laboratory work applicants for higher education are invited to use an animation simulator.*

*The purpose of work is to suggest the use of a simulator in the educational process for studying the Bernoulli equation.*

*Bernoulli's equation is basic, necessary not only for studying the course of hydraulics. It is used in design of hydraulic and pneumatic systems. It can be written for the case of real fluid flow. Its components can have the dimension of head.*

*The software product is designed to simulate laboratory work on the main sections of hydromechanics. Techniques for performing laboratory work in the shell of a computer program provide for an acquaintance with a physical phenomenon and the principle of operation of experimental installations and the procedure for performing work. Visual volumetric visualization combined with interactivity contributes to the effective assimilation of educational material.*

*The simulator of laboratory work on the study of the Bernoulli equation allows you to make the learning process brighter, more visual.*

*This article is of scientific and methodological character.*

**Keywords:** educational process; hydraulics; Bernoulli equation; modeling; simulator.

*Fig:11. References: 9.*

**Володимир Тулунов<sup>1</sup>, Сергій Онищук<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри інноваційних технологій і управління  
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [wladimir.tulupov@gmail.com](mailto:wladimir.tulupov@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3951-364X>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інноваційних технологій і управління  
Донбаська державна машинобудівна академія (Краматорськ, Україна)

**E-mail:** [onishchuk65@gmail.com](mailto:onishchuk65@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8157-6869>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*У статті досліджено методи поверхневого зміцнення деталей машин з використанням електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та алюмотермії. Досліджено зносостійкість та інтенсивність зношення дослідних зразків з використанням методу штучних баз. Визначено, що зносостійкість після фрикційного електроімпульсного вигладжування збільшується в 1,8 рази. Після алюмотермії зносостійкість збільшується в 2 рази, інтенсивність зношення після фрикційного електроімпульсного вигладжування зменшується в 1,6 рази, після алюмотермії зменшується в 1,8 рази.*

**Ключові слова:** поверхнєве зміцнення; електроімпульсне вигладжування; алюмотермія; зносостійкість; інтенсивність зношування.

*Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 8.*

**Актуальність теми дослідження.** Перспективним напрямом підвищення експлуатаційних характеристик деталей машин є формування на їхній поверхні шару з особливими властивостями, що відрізняються від властивостей основного матеріалу. До методів модифікації поверхневого шару деталей належать декілька, а саме: хімічні та хіміко-термічні (цементация, азотування, нітроцементация), термічні (гартування струмами високої частоти), обробка виробів концентрованими потоками енергії (пучки електронів, плазмові потоки, лазерне випромінювання), механічні (поверхнево-пластичне деформування) та ін. [1]. Для практичного використання найбільш прийнятним є використання енергозберігаючих методів поверхневого зміцнення, до яких належать, зокрема, електроімпульсне вигладжування з модифікуванням та зміцнення з використанням алюмотермії. Дослідженню цих методів і присвячена наукова робота.

**Постановка проблеми.** Використання в технологічному процесі виготовлення деталей машин термічних операцій передбачає збільшення виробничого циклу через необхідність переривання технологічного процесу, вимагає спеціального енергоємного обладнання. Використання енергозберігаючих методів поверхневого зміцнення без використання спеціального обладнання та переривання технологічного процесу дозволить зменшити трудомісткість і собівартість виготовлення продукції. Тому виникає необхідність дослідження енергозберігаючих методів, зокрема електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та зміцнення з використанням алюмотермії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [2] виконано дослідження технології формування зносостійких дискретних покриттів електроконтактним методом на деталях типу тіл обертання. Авторами доведено, що використання покриттів дискретної структури підвищує несучу спроможність покриттів. Фрикційне електроімпульсне модифікування (ФЕМ) використовують для зміцнення деталей, що мають знакозмінні навантаження при роботі. Реалізація ФЕМ здійснюється нанесенням покриття у вигляді твердої змазки та вигладжуванням з пропусканням змінного струму через зону обробки [3]. Склад модифікатора та режими ФЕМ зумовлюють отримання дискретної структури.

Спосіб зміцнення сталевих деталей, запропонований авторами [4], полягає в насиченні поверхні оброблюваної деталі металами та композитними матеріалами із застосуванням спеціального обладнання у середовищі аргону методом алюмініотермії. У результаті збільшується мікротвердість поверхневого шару та зносостійкість.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Серед розглянутих методів зміцнення є малодослідженими питання впливу на зносостійкість виробів технологічних методів електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та зміцнення з використанням алюмотермії на відкритому повітрі.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження технологій поверхневого зміцнення деталей машин із використанням електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та з використанням алюмотермії на відкритому повітрі.

**Виклад основного матеріалу.** Метод електроімпульсного вигладжування з модифікуванням передбачає використання як модифікатора дисульфиду молібдену ( $\text{MoS}_2$ ). Особливістю цього матеріалу є його шарувата структура. Кожний шар ковзає відносно іншого, чим обумовлює низький коефіцієнт тертя. Незначне нагрівання та високі навантаження не призводять до його збільшення [5]. Електроімпульсне вигладжування з модифікуванням засноване на поєднанні силового та теплового факторів на нанесений попередньо шар твердого змащення (рис. 1, а). Отримаємо регулярну дискретну структуру (РДС) поверхні, що є поєднанням зміцнених фрагментів з дисульфідом молібдену ( $\text{MoS}_2$ ) та фрагментів з оксидом молібдену ( $\text{MoO}_3$ ). Режими вигладжування, частота та тривалість імпульсів струму визначають розташування зміцнених фрагментів [6]. Фрагменти оксиду молібдену ( $\text{MoO}_3$ ) є результатом окислення дисульфиду молібдену при температурі  $600^\circ\text{C}$ , що є наявною в зоні обробки.

Використання методу алюмотермії дозволяє отримати оксид алюмінію  $\text{Al}_2\text{O}_3$  та хром  $\text{Cr}$  у результаті хімічної реакції. Оксид хрому  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , металевий порошок алюмінію  $\text{Al}$  та зв'язувальна речовина наносяться на поверхню зразка шаром товщиною  $0,5\text{--}1\text{ мм}$ . Заготовка виготовляється з круглого прокату зі сталі 40ХН і закріплюється на оправці в трикулачковому патроні токарно-гвинторізного верстата мод. 16К25. При обробці отримує обертання з частотою  $63\text{ хв}^{-1}$ . На електрод, що переміщується в поздовжньому напрямку зі швидкістю  $D_s = 2\text{ мм/хв}$ , подається електричний струм напругою  $12\text{ В}$ . Процес алюмотермії зніщується дугою, що виникає (рис. 1, б) [7].

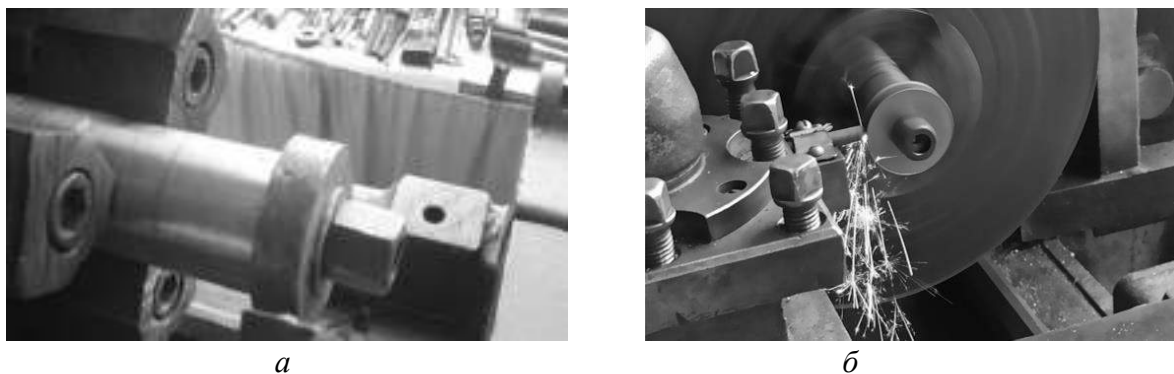


Рис. 1. Реалізація методів зміцнення:  
а – електроімпульсне вигладжування; б – метод алюмотермії

Металографічні дослідження металевих зразків, зміцнених методами електроімпульсного вигладжування та методом алюмотермії, виконувались в Заводській лабораторії ПрАТ «Новокраматорський машинобудівний завод».

Хімічний склад матеріалу зразків визначався за допомогою рентгено-флуоресцентного та спектрального аналізу. Результати аналізу представлені в табл. 1.



Таблиця 1

*Хімічний склад матеріалу зразків*

Досліджувана структура	Вміст елементів, %									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo
рентгено-флуоресцентний аналіз (після алюмотермії)										
зміцнений шар	-	15,53	0,31	-	-	10,94	0,54	0,06	6,10	0,19
основний метал	-	0,45	0,63	-	-	0,66	1,18	0,12	-	0,05
спектральний аналіз (після алюмотермії)										
основний метал	0,48	0,31	0,66	0,015	0,018	0,62	1,27	0,12	0,022	0,05
спектральний аналіз (після електроімпульсного вигладжування з модифікуванням)										
основний метал	0,40	0,31	0,67	0,014	0,022	0,61	1,25	0,12	0,022	0,05
40ХН ГОСТ 4543-71	0,36- 0,44 <sup>+0,01</sup>	0,17- 0,37	0,50- 0,80	≤0,035	≤0,035	0,45- 0,75	1,00- 1,40	≤0,30	-	-

Результати дослідження свідчать про насичення зміцненого шару зразків хромом і алюмінієм після алюмотермії та молібденом після електроімпульсного вигладжування. У макроструктурі матеріалу зразка тріщин, раковин, пор, неметалевих включень та інших дефектів металургійного характеру не виявлено.

Твердість матеріалу, що була визначена методом Роквелла, становить 18HRC.

Мікроструктура матеріалу зразків вивчалася за допомогою металографічного мікроскопа «Неофот-30» при збільшеннях 100х, 500х (рис. 2). Зразок протравлювався 4%-м розчином HNO<sub>3</sub>. У зразка після алюмотермії виявлена зона, що відрізняється яскраво світлою травимістю в порівнянні з основним металом.

Рівень мікротвердості визначено на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні 25 г. Мікротвердість зразка після алюмотермії на глибині 0,025 мм від поверхні становить 370 ÷ 380 Н/мм<sup>2</sup>, на глибині 0,07 мм – 170 ÷ 200 Н/мм<sup>2</sup>. Мікротвердість зразка після електроімпульсного вигладжування при різних режимах обробки знаходилася в інтервалі 3,5...7,7 ГПа, при початковій 2...2,12 ГПа.

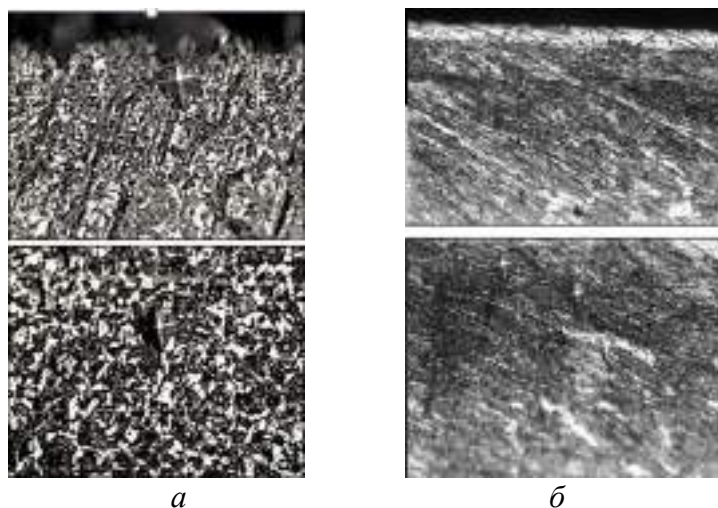


Рис. 2. Мікроструктура поверхневої зони зразків (збільшення 500х):  
а – електроімпульсне вигладжування; б – алюмотермія

Мікроструктура матеріалу зразків (рис. 2) являє собою перліт і ферит по межах зерна. Величина зерна оцінюється 6,0 номером шкали №1 ГОСТ 5639-82.

Для дослідження зносостійкості деталей, оброблених методами електроімпульсного вигладжування та алюмотермії на відкритому повітрі використовувався метод штучних баз [8]. Випробування проводилось на устаткуванні за методикою випробувань на машині тертя за схемою «диск-колодка». Умови випробувань були такі: навантаження  $G = 1$  кН,

частота обертання  $n = 1400 \text{ хв}^{-1}$ , умови тертя (сухе тертя). Контр-тілом слугував бархатний напилек (25 зубців на  $1 \text{ см}^2$ ), виготовлений з інструментальної вуглецевої сталі У13А з твердістю 54–58 HRC.

За результатами експериментів були побудовані графіки зношення, зносостійкості та інтенсивності зношення досліджуваних зразків після зміцнення алюмотермією, електроімпульсним вигладжуванням та після механічної обробки без зміцнення (рис. 3-5).

### Зношення зразків

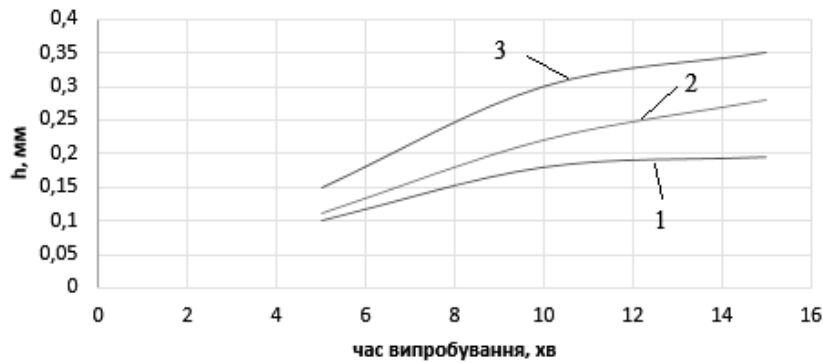


Рис. 3. Зношення поверхні дослідних зразків:  
1 – після алюмотермії, 2 – після вигладжування, 3 – без зміцнення

### Зносостійкість зразків

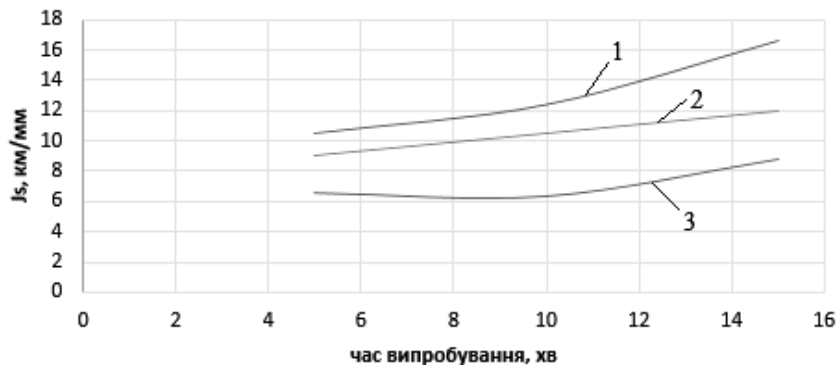


Рис. 4. Зносостійкість поверхні дослідних зразків:  
1 – після алюмотермії, 2 – після вигладжування, 3 – без зміцнення

### Інтенсивність зношення зразків

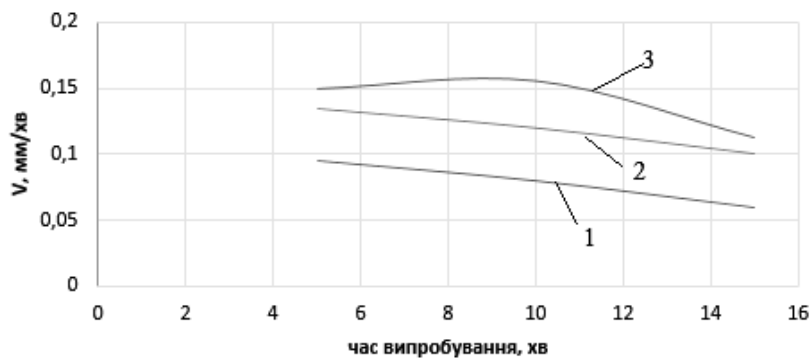


Рис. 5. Інтенсивність зношення поверхні дослідних зразків:  
1 – після алюмотермії, 2 – після вигладжування, 3 – без зміцнення

У результаті ФЕМ зносостійкість поверхонь зразків збільшується в 1,8 раза, а при методі зі застосуванням алюмотермії збільшується в 2 рази, інтенсивність зношення відповідно зменшується в 1,6 та 1,8 раза.

**Висновки.** У роботі досліджено методи поверхневого зміцнення з використанням електроімпульсного вигладжування з модифікуванням та алюмотермії на відкритому повітрі. Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що досліджені методи забезпечують збільшення мікротвердості поверхні. Зносостійкість після електроімпульсного вигладжування збільшується в 1,8 рази, після алюмотермії – в 2 рази. Інтенсивність зношення поверхні після електроімпульсного вигладжування зменшується в 1,6 раза, після алюмотермії – в 1,8 раза. Представлені в роботі результати досліджень можуть надалі бути використані для створення технологічного процесу виготовлення деталей з використанням операцій зміцнення замість термічної операції.

### Список використаних джерел

1. Интегрированные технологии обработки материалов : учебник / Е. С. Геворкян, Л. А. Тимофеева, В. П. Нерубацкий, Мельник О. М. – Харьков : УкрДУЗТ, 2016. – 238 с.
2. Повышение износостойкости деталей судовых машин и механизмов покрытиями дискретной структуры. Технологическое обеспечение покрытий дискретной структуры электроконтактным припеканием / Б. А. Ляшенко, Ю. В. Волков, Е. К. Соловых, Л. А. Лопата // Проблемы трения та зношування. – 2015. – № 2(67). – С. 110-126.
3. Эдигаров В. Р. Поверхностная фрикционно-электрическая обработка алюминиевых сплавов / В. Р. Эдигаров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2020. – Вып. 10. – С. 47–53. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-10-47-53.
4. Костыря В. Ю. Структурноупрочняемые самоотверждающиеся СВС материалы / В. Ю. Костыря // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия : Стародубовские чтения. – 2011. – Вып. 58. – С. 333-350.
5. Прудников М. И. Антифрикционные твердосмазочные покрытия – современная альтернатива резбвым пастам для сборки обсадных труб / М. И. Прудников // Сфера. Нефть и газ. – 2016. – № 5 (55). – С. 30-32.
6. Ковалевський С. В. Дослідження методу фрикційного електроімпульсного модифікування / С. В. Ковалевський, В. І. Тулупов, С. Г. Онишук // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : Чернігівський національний технологічний університет, 2017. – Т. 1. – С. 146-147.
7. Тулупов В. Дослідження методу поверхневого зміцнення деталей із використанням алюмотермії / В. Тулупов, С. Онишук // Технічні науки та технології. – 2021. – № 2(24). – С. 17-22. DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-17-22.
8. Ефремов Л. В. Ускоренные испытания стальных образцов на износостойкость методом искусственных баз / Л. В. Ефремов, А. В. Тикалов, А. Д. Бреки // Изв. вузов. Приборостроение. – 2016. – Т. 59, № 8. – С. 671-676.

### References

1. Hevorkian, E.S., Tymofeieva, L.A., Nerubatskyi, V.P., & Melnyk, O.M. (2016). *Intehrovani tekhnologii obrobky materialiv [Integrated materials processing technologies]*. Kharkiv.
2. Lyashenko, B.A., Volkov, Yu.V., Solovykh, E.K., & Lopata, L.A. (2015). *Povyshenie iznosostojkosti detalej sudovyh mashin i mekhanizmov pokrytyami diskretnoj struktury. Tekhnologicheskoe obespechenie pokrytij diskretnoj struktury elektrokontaktym pripekaniem [Increasing the wear resistance of parts of ship machines and mechanisms with coatings of a discrete structure. Technological support of discrete structure coatings with electrical contact sintering]. Problemy tertya ta znoshuvannya – Problems of friction and wear, (2(67)), 110-126.*
3. Edigarov, V.R. (2020). *Poverhnostnaya frikcionno-elektricheskaya obrabotka alyuminievyh splavov [Surface Friction-Electric Treatment of Aluminum Alloys]. Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Mashinostroenie – BMSTU Journal of Mechanical Engineering, 10, 47–53. DOI: 10.18698/0536-1044-2020-10-47-53.*

4. Kostyria, V.Yu. (2011). Strukturnouprochniaemye samoterموobrabatyvaiushchiesia SVS materialy [Structurally strengthened self-heat-treating SHS materials]. *Stroitelstvo. Materialovedenie. Mashinostroenie. Seriya: Starodubovskie chteniia – Building. Materials Science. Mechanical engineering. Series: Starodubov Readings*, 58, 333-350.

5. Prudnikov, M.I. (2016). Antifrikcionnye tverdostmazochnye pokrytiya – sovremennaya al'ternativa rez'bovym pastam dlya sborki obsadnyh trub [Anti-friction solid lubricating coatings are a modern alternative to thread paste for casing assembly]. *Sfera. Neft' i gaz – Sphere. Oil and gas*, (5(55)), 30-32.

6. Kovalevsky, S.V., Tulupov, V.I., & Onyshchuk, S.G. (2017). Doslidzhennya metodu frykciynogo elektroimpulsnogo modyfikuvannya [Researching of the method of frictional electropulse modification]. *Kompleksne zabezpechennya yakosti texnologichnyx procesiv ta system: materialy VII mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferenciyi. Chernigivskiy nacionalnyj texnologichnyj universytet – Comprehensive quality assurance of technological processes and systems. Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference* (Vol. 1, pp. 146-147). CNTU.

7. Tulupov V., & Onyshchuk S. (2021). Doslidzhennya metodu poverxneвого zmichnennya detalej iz vykorystannyam alyumotermiyi [Researching of the method of surface strengthening details using alumothermia]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, (2(24)), 17-22. DOI: 10.25140/2411-5363-2021-2(24)-17-22.

8. Efremov, L.V., Tikalov, A.V., Breki, A.D. (2016). Uskorennie ispytaniia stalnykh obratcov na iznosostoičnost metodom iskusstvennykh baz [Accelerated testing of steel samples for wear resistance by the method of artificial bases]. *Izv. vuzov. Priborostroenie – News of universities. Instrumentation*, 59(8), 671-676.

Отримано 01.07.2021

UDC 621.793.620.172

**Volodymyr Tulupov<sup>1</sup>, Serhii Onyshchuk<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor of Innovative Technologies and Management Department  
Donbas State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: [wladimir.tulupov@gmail.com](mailto:wladimir.tulupov@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3951-364X>

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Innovative Technologies and Management Department  
Donbas State Engineering Academy (Kramatorsk, Ukraine)

E-mail: [onishchuk65@gmail.com](mailto:onishchuk65@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8157-6869>

## RESEARCH OF SURFACE REINFORCEMENT TECHNOLOGIES FOR MACHINE DETAILS

*A promising direction to improve the performance of machine details is the formation on their surface of a layer with special properties that differ from the properties of the base material. For practical use, the most acceptable is the use of energy-saving methods of surface hardening, which include, in particular, electropulse smoothing with modification and hardening using aluminothermy. Scientific work is devoted to the study of these methods.*

*The use of energy-saving methods of surface hardening without the use of special equipment and interruption of the technological process will reduce the complexity and cost of manufacturing. Therefore, there is a need to study energy-saving methods, in particular electropulse smoothing with modification and hardening using aluminothermy.*

*The aim of the work is to study the technologies of surface hardening of machine parts with the use of electropulse smoothing with modification and with the use of aluminothermy in the open air.*

*Electropulse smoothing with modification is based on a combination of power and thermal factors on a pre-applied layer of solid lubricant. Molybdenum disulfide was used as a modifier. The method of aluminothermy allows to obtain alumina and chromium, which create a protective reinforced layer on the surface of a part. The microstructure of the surface layer of a part after hardening operations, microhardness was studied. The wear resistance, wear intensity of prototypes using the method of artificial bases are investigated.*

*Wear resistance after electropulse smoothing increases by 1.8, after aluminothermy by 2; the intensity of surface wear after electropulse smoothing decreases by 1.6, after aluminothermy by 1.8.*

**Keywords:** surface hardening; electropulse smoothing; aluminothermy; durability; wear intensity.

*Fig.: 5. Table: 1. References: 8.*

**Кароліна Янцевич**

молодший науковий співробітник відділу «Захисних покриттів»  
Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (Київ, Україна)  
E-mail: [ycarolin@ukr.net](mailto:ycarolin@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3975-7727>

## ЖАРОСТІЙКІСТЬ ДИФУЗІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ХРОМУ ТА КРЕМНІЮ НАНЕСЕНИХ НА ВУГЛЕЦЕВУ СТАЛЬ

У роботі представлені результати дослідження жаростійкості дифузійних хромосиліцидних покриттів нанесених на сталь 45 газовим методом. Встановлено, що при комплексному хромосиліціюванні сталі 45 формуються покриття, що складаються з двох шарів: карбідів хрому  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  та твердого розчину Si та Cr в  $\alpha$ -Fe. Загальна товщина покриттів становить 100 мкм, мікротвердість дорівнює 19,5 ГПа. За кінетичними залежностями окислення в температурному інтервалі 800-1000 °C побудовано параметричну діаграму жаростійкості, яка дозволяє проводити оцінку довговічності захисного дифузійного хромосиліцидного покриття при різних температурах до 1000 °C. Показано, що отримані покриття визначаються високою жаростійкістю.

**Ключові слова:** хром; кремній; дифузійні покриття; жаростійкість.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Захист металів від газової корозії забезпечує довготривале функціонування деталей машин та конструкцій, виготовлених із вуглецевих сталей. Тому для забезпечення експлуатаційної надійності та збільшення ресурсу використання металевих виробів необхідно вести пошук ефективних шляхів підвищення їх жаростійкості та корозійної стійкості. Нанесення дифузійних покриттів призводить до зміни хімічного складу, структури і властивостей поверхневого шару сталей, підвищує корозійну стійкість та жаростійкість при різних умовах експлуатації [1-7].

**Постановка проблеми.** Роботоздатність ріжучого інструменту із захисними дифузійними покриттями залежить значною мірою від їхньої жаростійкості, яка є однією з найважливіших фізико-хімічних характеристик. Відомо, що температури нагрівання під гартування вуглецевих сталей лежить в інтервалі температур 750-900 °C [7]. Враховуючи, що в технологічному процесі найбільш простим є нагрівання під гартування в повітряній атмосфері, визначення можливості проведення цієї операції при обробці сталей з дифузійними покриттями має практичний інтерес. Останнім часом до покриттів, що використовують у промисловості, висувають комплексні вимоги, яким повинні відповідати дифузійні покриття. Відомо, що такий комплекс фізико-хімічних властивостей може бути досягнутий шляхом нанесення на поверхню сталей дифузійних покриттів за участю двох або декількох елементів. Хромосиліціювання – відомий процес хіміко-термічної обробки, який полягає в насиченні металів та сплавів хромом та кремнієм з метою підвищення їхньої жаростійкості, корозійної стійкості [1; 3].

**Метою роботи** було дослідити жаростійкість дифузійних хромосиліцидних покриттів, які нанесені на сталь 45 розробленим нами газовим способом [8; 9].

**Виклад основного матеріалу.** Дифузійні покриття наносили на зразки зі сталі 45 газовим методом. Для нанесення хромосиліцидних покриттів використовували установку, яка була виготовлена на базі шахтної печі СШОЛ 1.1.6/12 при температурі 1373K та парціальному тиску в камері  $10^2$  Па з використанням порошків феросиліцію, хрому, а також чотирихлористого вуглецю та графіту [9]. Дослідження мікроструктури дифузійних шарів проводили на електронному мікроскопі-мікроаналізаторі САМЕВАХ SX-50. Рентгеноструктурний аналіз проводили на установці ДРОН-3-М у монохроматичному  $CuK\alpha$  випромінюванні. Мікротвердість вимірювали з використанням приладу ПМТ-3. Жаростійкість покриттів вивчали термогравіметричним методом на установці «Дериватограф Q-1500D» (при нагріванні зразків у атмосфері повітря впродовж однієї години до 1000 °C), а також у спеціально розробленій шахтній печі (при температурах ізотермічної витримки 700-1000 °C та часі окиснення 1-6 години). Дослідження проводили з викорис-

танням аналітичних терезів марки АДВ -200 та терморегулятора марки ЕПД-120. За даними масометричних досліджень розраховували масометричний показник корозії та будували залежності  $\Delta m - \tau$ , де  $\Delta m$  – зміна маси зразків (г) з поверхні  $S$  (см<sup>2</sup>) за час випробування  $\tau$  (годин) [10]. У роботі були побудовані параметричні діаграми жаростійкості в координатах  $\lg q - P$  (де  $q$  – питоме збільшення маси,  $P$  – параметр жаростійкості) для оцінки довговічності захисних покриттів для температур до 1000 °С [11; 12].

Рентгеноструктурним пошаровим аналізом було встановлено, що на поверхні зразків на сталі 45 дифузійний шар складається з двох зон – зовнішньої (10-15)  $10^{-6}$  м, яка містить карбіди хрому  $Cr_{23}C_6$  і  $Cr_7C_3$  (з більшим вмістом карбіду хрому  $Cr_{23}C_6$ ), та внутрішньої (60-80)  $10^{-6}$  м, яка являє собою твердий розчин Si та Cr в  $\alpha$ -Fe (рис. 1). Загальна товщина покриттів – 100 мкм. Мікротвердість дифузійного шару становить 19,5 ГПа. Мікроструктура дифузійного покриття представлена на (рис. 2).

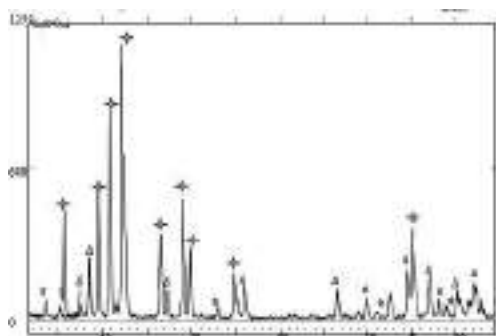


Рис. 1. Дифрактограма поверхні зразків сталі 45 з комплексними хромосиліцидними покриттями; випромінювання  $Si\ K\alpha_1$  (☆ -  $Cr_7C_3$ , Δ -  $Cr_{23}C_6$ , — -  $Fe\alpha(Cr, Si)$ )

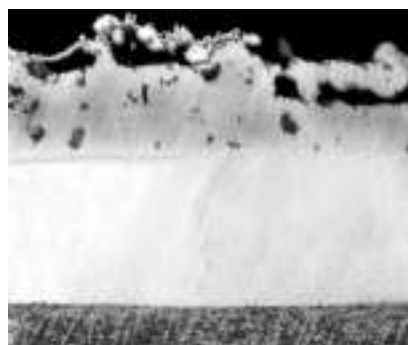


Рис. 2. Мікроструктура хромосиліцидного покриття на сталі 45,  $\times 500$

При високотемпературному окисненні зразків із хромосиліцидними покриттями в інтервалі температур 170-250 °С спостерігається протікання тільки однієї хімічної реакції, яка пов'язана з поглинанням тепла. При цьому, незважаючи на значний екзотермічний ефект, на кривих зміни маси (ТГ) та швидкості зміни маси зразків (ДТГ) до температури 1000 °С ніяких істотних відхилень впродовж однієї години не спостерігається (рис. 3). Така відсутність зміни маси зразків із хромосиліцидними покриттями при нагріві до 1000 °С та перебіг тільки однієї хімічної реакції при температурі 170-250 °С може свідчити про те, що, мабуть, саме в цьому інтервалі температур на їхній поверхні утворюється щільна, невелика за масою та товщиною оксидна плівка, яка й захищає дифузійний шар від його подальшого окиснення.

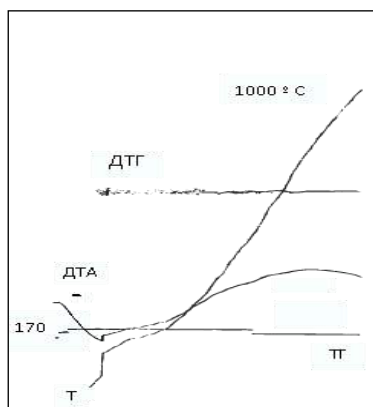


Рис. 3. Криві зміни маси (ТГ), швидкості зміни маси (ДТГ) та зміни вмісту тепла (ДТА), отриманих при окисненні зразків із хромосиліцидними покриттями на сталі 45 протягом 1 години

Для вивчення кінетики окиснення сталі 45 та сталі 45 із хромосиліцидними покриттями, отриманих при різних умовах ізотермічної витримки, за дослідними даними були побудовані залежності збільшення маси зразків від часу окиснення при температурах 800–1000 °С (рис. 4). Як можна побачити з наведених експериментальних даних, механізм окиснення хромосиліцидних дифузійних покриттів при всіх досліджених температурах мають параболічний характер, що може свідчити про дифузійний механізм процесу окиснення. Справедливість дифузійного механізму окиснення покриттів підтверджується також побудованими нами графічними залежностями в координатах  $\lg q - \lg \tau$ , які для наведених температур окиснення мають пряму лінію, коефіцієнт кореляції яких дорівнює 0,96 -0,99 відповідно (рис. 5).

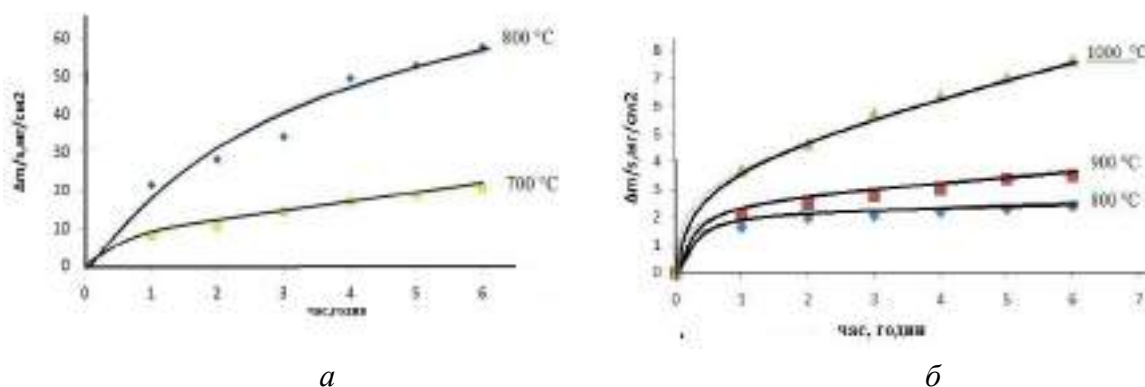


Рис. 4. Кінетичні криві окиснення сталі 45 (а) та сталі 45 з дифузійними хромосиліцидними покриттями (б) при різних температурах

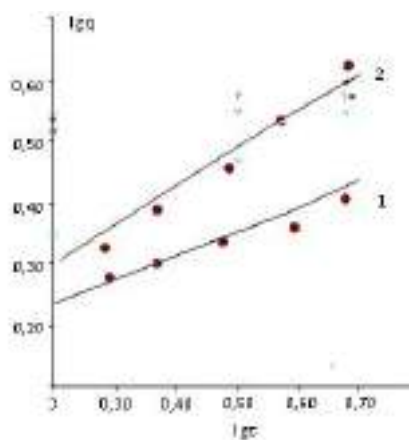


Рис. 5. Залежність  $\lg q - \lg \tau$  для зразків із хромосиліцидними покриттями при температурах витримки 1 – 800 °С; 2 – 900 °С

Проведені дослідження сталі 45 показали, що при температурі 700 °С – швидкість корозії становить 7,64 мг/см<sup>2</sup> після однієї години випробувань, при температурі 800 °С – 22,4 мг/см<sup>2</sup>. При подальшому підвищенні часу окиснення швидкість корозії значно підвищується – до 55,4 мг/см<sup>2</sup>. Нанесення на поверхню сталі 45 хромосиліцидних покриттів приводить до підвищення її жаростійкості. Проведені масометричні дослідження показали, що швидкість окиснення покриттів, які були нанесені на сталь 45, після однієї години випробувань становить відповідно (мг/(см<sup>2</sup>)): при температурі 800 °С – 1,64; при температурі 1000 °С – 3,74, а вже після шести годин випробувань швидкість їх окиснення становить відповідно (мг/(см<sup>2</sup>)): при температурі 800 °С – 2,42; при температурі 1000 °С – 7,64. Невисока швидкість окиснення хромосиліцидних покриттів, нанесених на сталь 45, може бути обумовлена утворенням захисних шарів хрому, що входить до складу твердого

розчину покриття на сталі 45, невеликим вмістом заліза в їх карбідних фазах, значно більшою часткою у них карбіду  $Cr_{23}C_6$ , який має більш високу стійкість до окислення, ніж карбід  $Cr_7C_3$ [2].

Рентгеноструктурним аналізом встановлено, що на поверхні сталі 45 з комплексними хромосиліцидними покриттями фіксується поява оксидних плівок хрому ( $Cr_2O_3$ ) та  $SiO_2$ , які, як відомо, можуть загальмовувати процеси дифузії в поверхневому шарі при високо-температурному окисленні [3]. Мікрорентгеноспектральним аналізом встановлено, що кількість хрому за товщиною покриття змінюється від 52,3 до 52,9 % мас., заліза від 18,7 до 22,2 % мас., кисню від 1,8 до 0,6 % мас., вміст кремнію, що здатний суттєво підвищити жаростійкість матеріалів, у зовнішній зоні покриття становить від 0,42 ат.%, у внутрішній – до 8,15 ат.%. Мікротвердість шару покриття після окислення дещо збільшується і становить 20,5 ГПа.

Проведені дослідження дозволили шляхом побудови параметричної діаграми жаростійкості провести оцінювання довговічності захисного дифузійного покриття для різних температур до 1000 °С. Розрахування параметру жаростійкості полягає у визначенні виразу для параметра і рівняння жаростійкості [11], тобто в знаходженні рівняння, яке пов'язує характеристику окалиностійкості металу (питоме збільшення маси  $q$ ) з параметром жаростійкості  $P$ :  $q = f(P)$ . Фізичний зміст параметра жаростійкості – це фізична величина, швидкість зміни якої в часі пропорційна (за модулем) істинній швидкості окиснення металу, розрахованої за величинами відносних збільшень маси. Для побудови параметричної діаграми проводили відповідні розрахунки [11; 12], які наведені в таблиці, а параметрична діаграма представлена на (рис. 6).

Таблиця

*Результати розрахунків параметрів жаростійкості  
дифузійних хромосиліцидних покриттів*

Температура, К	$\frac{10^3}{T}, \frac{1}{K}$	Час окислення $\tau$ , годин	$lgt$	Приріст маси, мг/см <sup>2</sup>	$lq$	$\frac{Q \cdot lge}{R \cdot T}$	Параметр жаростійкості, P
1073	0,932	1	0	1,64	0,22	8,6	8,7
		2	0,301	1,96	0,29		8,2
		3	0,477	2,06	0,31		8,1
		4	0,602	2,17	0,33		7,8
		5	0,699	2,29	0,36		7,7
		6	0,778	2,42	0,37		7,5
1173	0,852	1	0	2,07	0,31	7,6	7,8
		2	0,301	2,49	0,39		7,5
		3	0,477	2,80	0,44		7,3
		4	0,602	3,03	0,48		7,2
		5	0,699	3,40	0,53		7,1
		6	0,778	3,51	0,62		7,2
1273	0,785	1	0	3,74	0,57	7,2	7,3
		2	0,301	4,66	0,67		6,8
		3	0,477	5,74	0,76		6,7
		4	0,602	6,42	0,82		6,5
		5	0,699	7,06	0,84		6,4
		6	0,778	7,64	0,90		6,3



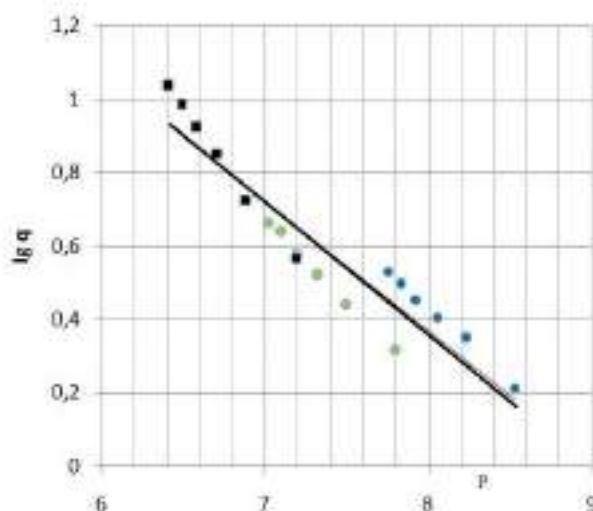


Рис. 6. Параметрична діаграма жаростійкості дифузійного хромосиліцидного покриття на сталі 45 за результатами іспитів на жаростійкість при температурах 800-1000 °С протягом 1-6 годин

Таким чином, дифузійне хромосиліціювання сталі 45 призводить до утворення на поверхні комплексних покриттів із загальною товщиною 100 мкм та мікротвердістю 20,5 ГПа, які мають високу жаростійкість. При температурі 800 °С стійкість дифузійних покриттів перевищує сталь 45 у 20 разів, а в умовах окислення при температурі до 1000 °С залишається на рівні нержавіючої сталі 08Х17Т. Це дозволяє рекомендувати покриття для використання при підвищених температурах.

**Висновки.** Дифузійне хромосиліціювання сталі 45 дозволяє отримувати на її поверхні покриття, які складаються з карбідів хрому  $Cr_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$  та твердого розчину Cr та Si в  $\alpha$ -Fe. Показано, що отримані покриття визначаються високою жаростійкістю. На поверхні покриття формується шар окалини, який складається з оксидів  $Cr_2O_3$ ,  $SiO_2$ . Мікротвердість дифузійного шару після випробувань на жаростійкість збільшилась до 20,5 ГПа, що зумовлено, вірогідно, розчиненням кисню у шарі карбідів хрому.

За кінетичними залежностями окислення зразків із дифузійними покриттями в температурному інтервалі 800–1000 °С побудована параметрична діаграма жаростійкості, яка дозволяє здійснювати оцінку довговічності дифузійного покриттів при температурах до 1000 °С. Нанесені запропонованим способом хромосиліцидні покриття не поступаються жаростійкості іншим дифузійним покриттям на основі хрому, кремнію, алюмінію.

Отримані нами запропонованим способом хромосиліцидні покриття, нанесені на вуглецеві сталі, дозволяють рекомендувати їх для використання в умовах одночасного впливу контактних навантажень та підвищених температур.

#### Список використаних джерел

1. Земсков Г. В. Многокомпонентное диффузионное насыщение металлов и сплавов / Г. В. Земсков, Р. А. Коган. – Москва : Металлургия, 1978. – 208 с.
2. Лоскутов В. Ф. Карбідні покриття на сталях і твердих сплавах / В. Ф. Лоскутов, В. Г. Хижняк, І. С. Погребова. – Тернопіль. Лілея, 1998. – 144 с.
3. Ворошнин Л. Г. Теория и технология химико-термической обработки : учеб. пособие / Л. Г. Ворошнин, О. Л. Менделеева, В. А. Сметкин. – Минск : Новое знание. 2010. – 304 с.
4. Похмурский В. И. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий / В. И. Похмурский, В. Б. Далисов, В. М. Голубец. – К. : Наукова думка, 1980. – 188 с.

5. Перспективные диффузионные покрытия / Б. Д. Лыгденов, А. М. Гурьев, В. И. Мосоров, В. А. Бутухаров // Международный журнал экспериментального образования. – 2015. – № 12(4). – С. 572–573.
6. Гурьев А. М. Диффузионные покрытия сталей / А. М. Гурьев, С. Г. Иванов, И. А. Гармаева. – Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2013. – 221 с.
7. Коломыцев П. Т. Жаростойкие диффузионные покрытия / П. Т. Коломыцев. – Москва : Металлургия, 1979. – 271 с.
8. Спосіб нанесення карбідних покриттів : Патент на винахід № 50193. Україна / Лоскутов В. Ф., Погребова І. С., Лоскутова Т. В., Янцевич К. В., Бобіна М. Н., Нестеренко Ю. В. – опубл. 2002.
9. Вибір раціонального складу вихідних реагентів та режимів ведення процесу при хромоцилюванні вуглецевих сталей / Лоскутов В. Ф., Погребова І. С., Бобіна М. М. та ін. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2007. – № 8 (3). – С. 618–623.
10. Жук Н. П. Курс теории коррозии и защиты металлов : учебное пособие / Н. П. Жук. – Москва : Альянс, 2014. – 472 с.
11. Никитин В. И. Расчет жаростойкости металлов / В. И. Никитин. – Москва : Металлургия, 1976. – 207 с.
12. Никитин В. И. Метод прогнозирования долговечности защитных покрытий / В. И. Никитин // Физ.-хим. механика материалов. – 1981. – № 3. – С. 95–99.

#### References

1. Zemskov, N.V., Kohan, R.A. (1978). *Mnogokomponentnoe diffuzionnoe nasushchenie metallov i splyavov [Multicomponent diffusion saturation of metals and alloys]*. Metallurgiya.
2. Loskutov, V.F., Khyzhniak, V.H., Pohrebova, I.S. (1998). *Karbidni pokryttia na staliakh i tverdyykh splyavakh [Carbidni pokryttia on steels and hard alloys]*. Lileia.
3. Voroshnyn, L.H., Mendeleeva, O.L., Smetkyn, V.A. (2010). *Teoriia i tekhnologiia khimiko-termicheskoi obrabotki [Theory and technology of chemical-thermal treatment: textbook. allowance]*. Novoe znanie.
4. Pokhmurskyi, V.I., Dalisov, V.B., Holubets, V.M. (1980). *Povishenie dolgovechnosti detalei mashyn s pomoshchiu diffuzionnykh pokrytii [Increasing the durability of machine parts using diffusion coatings]*. Naukova dumka.
5. Lihdenov, B.D., Hurev, A.I., Mosorov, V.A., Butukharov, V.A. (2015). *Perspektivnye diffuzionnye pokryttia [Perspective diffusion coatings]*. *Mezhdunarodnui zhurnal eksperimentalnogo obrazovaniia – International Journal of Experimental Education*, 12(4), 572–573.
6. Hurev, A.M., Ivanov, S.G., Harmaeva, I.A. (2013). *Diffuzionnye pokryttia stali [Diffusion coatings of steels]*. Izd-vo AltHTU.
7. Kolomutsev, P.T. (1979). *Zharostoikie diffuzionnye pokryttia [Heat-resistant diffusion coatings]*. Metallurgiya.
8. Loskutov, V.F., Pohrebova, I.S., Loskutova, T.V., Yantsevych, K.V., Bobina, M.N., Nesterenko, Yu.V. (2002). *Sposib nanesennia karbidnykh pokryttiv [The method of applying carbide coatings ]* (Patent for invention № 50193. Ukraine).
9. Loskutov, V.F., Pohrebova, I.S., Bobina, M.M. et al. (2007). *Vybir ratsionalnogo skladu vykhidnykh reagentiv ta rezhymiv vedennia protsesu pry khromosylitsiuvanni vuhletsevyykh stali [Selection of rational composition of starting reagents and modes of process during chromosilication of carbon steels]*. *Fizyka i khimiia tverdoho tila – Solid state physics and chemistry*, (8(3)), 618–623.
10. Zhuk, N. P. (2014). *Kurs teoryi korrozii y zashchytu metallov [Course of the theory of corrosion and protection of metals]*. Alians.
11. Nykytyn, V.I. (1976). *Raschet zharostoikosty metallov [Calculation of heat resistance of metals]*. Metallurgiya.
12. Nykytyn, V.I. (1981). *Metod prognozirovaniia dolgovechnosti zashchytnykh pokrytii [Method for predicting the durability of protective coatings]*. *Fyz.-khyim. mekhanyka materyalov – Fiz.-Khim. mekhanics of materials*, 3, 95–99.

UDC 621.785

**Carolina Iantsevitch**

Junior Researcher of the Department "Protective coatings"

E. O. Paton Electric Welding Institute, NASU (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [ycarolin@ukr.net](mailto:ycarolin@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3975-7727>**HEAT RESISTANT OF DIFFUSION COATINGS OBTAINED  
BY CHROME AND SILICON ON CARBON STEEL**

*Diffusion coatings provide a way of extending the limits of the use of the materials at the upper end of their performance capabilities, by allowing the mechanical properties of the substrate materials to be maintained while protecting against wear, oxidation, and corrosion. Complex saturation of carbon steels with chromium and silicon allows to form two-component diffusion layers on their surface that have improved functional characteristics than one-component one.*

*The research objective was to study the heat resistance of diffusion chromosilicide coatings that were applied to carbon steels by the gas method.*

*In this work the diffusion coatings were deposited in a closed reaction space at reduced pressure of the active gaseous phase formed via using rational amounts of silicon and chromium powders,  $CCl_4$  activator on temperature of 1373K for 6 hours. This paper has been established that the complex chromosilicide treatment of steel 45 produces coatings consisting of chromium carbides  $Cr_{23}C_6$ ,  $Cr_7C_3$  and solid solution of Si and Cr in  $\alpha$ -Fe. The total thickness of the coatings is 100  $\mu m$ , the microhardness is 19.5 GPa. The paper presents the results of the study of heat resistance of diffusion chromosilicide coatings. The based kinetic dependences of oxidation in the temperature range 800-1000 °C, a parametric graph of heat resistance was constructed, which makes it possible to estimate the durability of the protective diffusion chromosilicide coating at various temperatures up to 1000 °C.*

*The results of the research showed that the stability of diffusion coatings exceeds steel 45 by 20 times at a temperature of 800°C and the remain stable under oxidation conditions at the level of stainless steel 08X17T up to 1000°C.*

**Keywords:** chrome; silicon; diffusion coatings; heat resistance.

*Fig.: 6. Table.: 1. References: 12.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-68-77

УДК 66.063.62

**Олексій Горностаї**

інженер I категорії Державного підприємства «Міжнародний центр електронно-променевої технології інституту електрозварювання імені Є. О. Патона»

E-mail: [gornostai.o.v@gmail.com](mailto:gornostai.o.v@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4961-7397>

## ЕВОЛЮЦІЯ СТАБІЛЬНОСТІ НАНОЧАСТИНОК Ag ТА Cu У ДИСПЕРСНИХ СИСТЕМАХ ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ФІЗИЧНОГО ОСАДЖЕННЯ У ВАКУУМІ

Представлені технологічні варіанти отримання дисперсних систем з наночастинками срібла та міді за допомогою методу електронно-променевого осадження (ЕВ-РВД) з направленим парового потоку на поверхню рідких матриць-носіїв. Досліджено морфологію, розміри, структури і стабільність у часі наночастинок срібла і міді в отриманих дисперсних системах. Представлені приклади стабільності композитів на основі гліцерину, політетрагідрофурану, олій синтетичного та рослинного походження з наночастинками металів розміром 15...52 нм. Стабільність дисперсних систем була покращена шляхом використання дисперсних систем на основі матриць із низькою температурою кристалізації. Застосування мономерів з низькою температурою кристалізації може стати альтернативою для додаткового використання поверхнево активних речовин, що спрощує процес зберігання наночастинок і розширює сферу їх застосування.

**Ключові слова:** електронно-променева технологія ЕВ-РВД; дисперсні системи; наночастинки срібла і міді.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 23.

**Актуальність теми дослідження.** Цікавість до досліджень функціональних матеріалів, що містять наночастинки (НЧ) металів, швидко зростає впродовж останніх років через їхні унікальні фізико-хімічні [1], механічні [2; 3] та біологічні властивості [4-7]. Тому на сьогодні дослідження функціональних матеріалів, що містять метали нанометрового розміру є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Отримання функціональних матеріалів базується насамперед на композиційних наноструктурних матеріалах, що складаються з хімічно різнорідних компонентів у вигляді твердих або рідких матриць (дисперсних систем) із нанорозмірними частинками неорганічних речовин. Під час синтезу наночастинок в об'ємі дисперсних систем, основні труднощі пов'язані передусім з агломерацією частинок унаслідок дії сили Ван-дер-Вальса та інших сил міжмолекулярної взаємодії. Нестабільність розміру НЧ у об'ємі дисперсних систем безпосередньо впливає на прояв зазначених вище властивостей і перешкоджає ефективному використанню НЧ та значно збільшує вартість виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений аналіз літературних джерел показав, що синтезовані НЧ потребують використання методів їх стабілізації. Оскільки наноматеріали або нанопристрої з функціональними властивостями малоефективні, якщо вони можуть зберігати свої властивості лише протягом короткого часу. Так, залежно від способу отримання, концентрації, розміру та температури зберігання, час стабільності розміру НЧ відрізняється [8].

Проведені дослідження еволюції стабільності в роботі [9-11] виявили, що застосування двох типів поверхнево-активних речовин (ПАР), а саме катіонних та аніонних ПАР збільшує час стабільності дисперсних систем з НЧ Ag порівняно з вихідними НЧ без стабілізатора. Найкращий результат показали стабілізатори на основі катіонних ПАР упродовж 70 діб. При цьому значна кількість літературних джерел [12] вказують на те, що стабілізуючі агенти повинні бути сумісними з подальшою функціоналізацією та застосуванням НЧ. У деяких випадках методи стабілізації, які повністю відокремлюють НЧ від зовнішнього середовища, можуть фактично зробити їх інертними та неефективними. Таки чином, потрібно зберегти баланс між рівнем активності та стабільності НЧ. Крім того, як тільки наноматеріали застосовуються в кінцевих продуктах, дослідження стабільності НЧ стає складнішим, оскільки реальне застосування наноматеріалів часто пов'язане з багатьма взаємодіючими хімічними та фізичними процесами.

Загалом за останні десятиліття кількість робіт, що присвячена дослідженню наноматеріалів експоненційно збільшилася. При цьому значна кількість робіт зосереджена здебільшого на синтезі НЧ (зміні форми НЧ, розміру, концентрації) та поліпшенню продуктивності самих методів синтезу, тоді як стабільність та реакційна здатність наночастинок вивчалась менш інтенсивно.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Недостатньо інформації в роботах, що описують: вплив способу одержання НЧ на агрегаційну здатність НЧ та їхню стабільність у дисперсних системах, синтез наночастинок безпосередньо в об'ємі кінцевого виробу, або однієї з його складових. Так, наприклад, стабілізатором може виступати матриця носій, що є складовою частиною кінцевого продукту. Таким чином, матриця носій може виконувати три функції: отримання НЧ, їх збереження та застосування. Водночас у переважній кількості робіт стабільність НЧ досліджувались в об'ємі деіонізованої води, яка в більшості випадків не є складовою кінцевих виробів.

Важливий і метод синтезу НЧ, передусім тому, що саме від методу залежить дзета потенціал отриманих НЧ і відповідно їх схильність до агрегації. Крім того, у більшості сфер застосування НЧ: медицина, фармація, каталіз – недопустимо наявність навіть найменших домішок. Тому методи хімічного синтезу та механічного подрібнення не відповідають повною мірою вимогам застосування НЧ у зазначених вище галузях. Методи фізичного осадження у вакуумі позбавлені цих недоліків. А саме – електронно-променевий метод випаровування і фізичної конденсації пари (метод ЕВ-РВД). Він добре себе зарекомендував у виробництві твердих неорганічних композитів, може бути адаптований для синтезу нанорозмірних структур. Електронний промінь – один із найефективніших джерел нагріву, оскільки при нагріванні джерело тепла розміщується безпосередньо в самому тілі й забезпечує максимальну повноту перетворення електричної енергії в теплову енергію [13; 14]. Усі технологічні процеси відбуваються у вакуумі, тому не супроводжуються викидом шкідливих парів і газів у довкілля.

**Мета дослідження.** Отримати дисперсні системи з наночастинками міді та срібла за допомогою методу електронно-променевого осадження у вакуумі. Визначити стабільність, щодо агрегації синтезованих наночастинок срібла й міді в отриманих дисперсних системах на основі рідких матриць синтетичного та природного походження.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 показані дві схеми електронно-променевого випаровування металів. Рис. 1, а – пряме випаровування. Його здійснюють переважно з мідного водоохолоджуваного тигля з відкритою поверхнею випаровування. На рис. 1, б – випаровування з реактора. Цей варіант випаровування дає змогу формувати паровий потік заданої просторової орієнтації, насамперед зверху вниз, і реалізувати осадження пари на горизонтальні поверхні сипучих і текучих матриць із ККД приблизно 50 %, що важливо в разі осадження коштовних матеріалів (Cu, Ag, Au, Pt) [15].

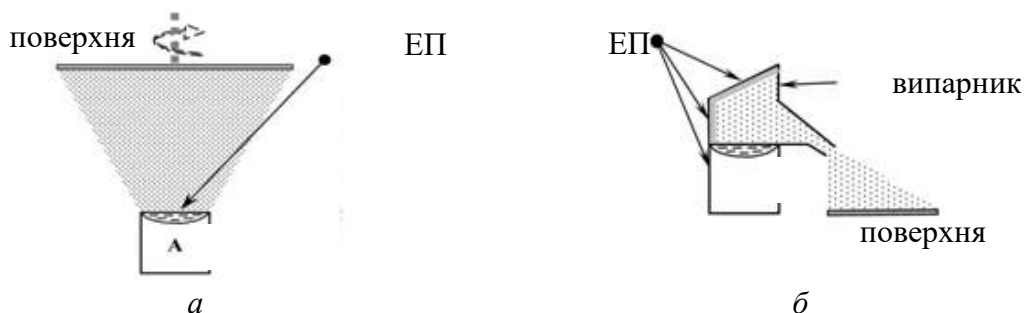


Рис. 1. Схема фізичного процесу випаровування і конденсації:  
а – пряме випаровування; б – випаровування з реактора [16]

При проведенні досліджень були застосовані лабораторні випарники реакторного типу продуктивністю 10 гр/год. Дослідні зразки рідких систем із нанорозмірними частинками металів виготовляли на лабораторній електронно-променевої установці потужністю 25 кВт і напругою 20 кВ, розробленої і виготовленої в ДП «Міжнародний центр електронно-променевої технологій ім. Є. О. Патона». Рідини, стабільні у вакуумі, розміщували в пласкі мідні водоохолоджуванні ємності діаметром 100...150 мм, заввишки 20...40 мм. За допомогою механічних пристроїв здійснювали їх ефективне перемішування з одночасним «опроміненням» спрямованого парового потоку. Вакуум у камері при осадженні пари підтримувався практично постійним рівнем  $\sim 10^{-3}$  Па. Час опромінення становив 5...10 хв. Температура рідини була в межах 300...330 К. Отримані зразки з концентрацією срібла (100...300 мг/л) і міді (350 мг/л) зберігались при температурі  $T = 280$  К у темному місці. Перелік дисперсійних середовищ наведено в таблиці 1.

Визначення форми, розміру НЧ здійснювали за допомогою просвічуальної електронної мікроскопії (ПЕМ) після їх вилучення з дисперсійного середовища за допомогою розчинників. Як розчинники були застосовані: деіонізована вода, ізопропиловий спирт та гексан, для гліцерину, ПТГФ та рослинних олій відповідно. Отримані зразки наносили на спеціальну вуглецеву сітку, з подальшою сушкою розчинника на повітрі за кімнатної температури. Після повного висихання здійснювали зйомку на електронному мікроскопі НІТАСНІ Н-800 за прискорюючої напруги 100 кВ із роздільною здатністю: у просвічує режимі – 0,2 нм, растровому режимі – 3 нм. Роботи з визначення концентрація срібла і міді в дисперсних системах були виконані в Інституті медицини праці НАМН України за допомогою методу атомноemisійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (АЕС ІСП) на приладі Optima 2 100 DV фірми PerkinElmer (США) відповідно з методами [17; 18]. Розмір наночастинок безпосередньо в дисперсних системах визначали з допомогою методу лазерної кореляційної спектроскопії (ЛКС) (Dynamic light scattering) на приладі ZetaSize Nano-S («Malvern», Великобританія). Прилад обладнаний гелій-неоновим (He-Ne) лазером із довжиною хвилі 632,8 нм і потужністю 4 мВт. Діапазон вимірювання приладу становить від 1 нм до 20 мкм [19].

Таблиця 1

*Перелік дисперсійних середовищ для дослідження [20; 21]*

Найменування дисперсійних систем	Фізичний стан	Щільність, г / см <sup>3</sup>	$T_{\text{кип}}$ , К	В'язкість $\eta$ , сП	Молярна маса, г/моль
Мономери (прекурсори синтетичних полімерів)					
Гліцерин	Прозора рідина	1,26	563	1490	92,1
*ПТГФ	Біла, воскоподібна тверда речовина	0,98	523	440	1000
Олії (синтетичного та рослинного походження)					
Вазелінове масло	Безбарвна в'язка рідина	0,89	473	160	350
Рослинні олії	Рідина золотисто-жовтого відтінку	0,92...1,10	300...443	35...81	-

*Примітка. Температура плавлення при нормальному атмосферному тиску політетрагідрофурану (ПТГФ)  $T_{\text{пл}} = 296$  К.*

Також метод ЛКС використовували для визначення стабільності середнього розміру частинок у часі. Дисперсні системи на основі рослинних олій вимірювалися за кімнатної температури  $T = 280$  К. Дисперсні системи на основі гліцерину та політетрагідрофурану (ПТГФ) при вимірюванні методом ЛКС підігрівалися до температури  $T \approx 325$  К, що також

слугувало зниженню в'язкості та збільшенню вірогідності отримання результатів. Додатково для дисперсної системи на основі гліцерину з наночастинками металів як стабілізуючий агент застосовується поверхнево активні речовини, а саме повідон (ПВП) марки К-17 з молекулярною масою  $10^4$  дальтон.

Після осадження парового потоку, відбувається зміна кольору дисперсійного середовища. Зокрема, гліцерин унаслідок «опромінення» паровим потоком срібла з безбарвною прозорою рідини перетворився на світло-сірий відтінок по всьому об'єму, водночас залишаючись прозорим упродовж усього часу спостереження. Такі ж відтінки набували ПТГФ і вазелінове масло. Рослинна олія у вихідному стані мала світло-жовтий колір, після осадження парового потоку срібла рослинні олії змінили колір на більш темний відтінок жовтого кольору. Опромінення паровим потоком міді змінило білий колір вихідної матриці ПТГФ на світло-коричневий відтінок. При просвічуванні отриманих композитів за допомогою лазерного променя спостерігалась поява світлового конусу (ефект Тіндалля). Присутність даного оптичного ефекту підтверджує наявність частинок розміром до 100 нм [22]. У вихідних рідких матрицях цей оптичний ефект був відсутній.

На рис. 2 представлені результати дослідження дисперсних систем насичених наночастинками срібла й міді за допомогою методу ЛКС.

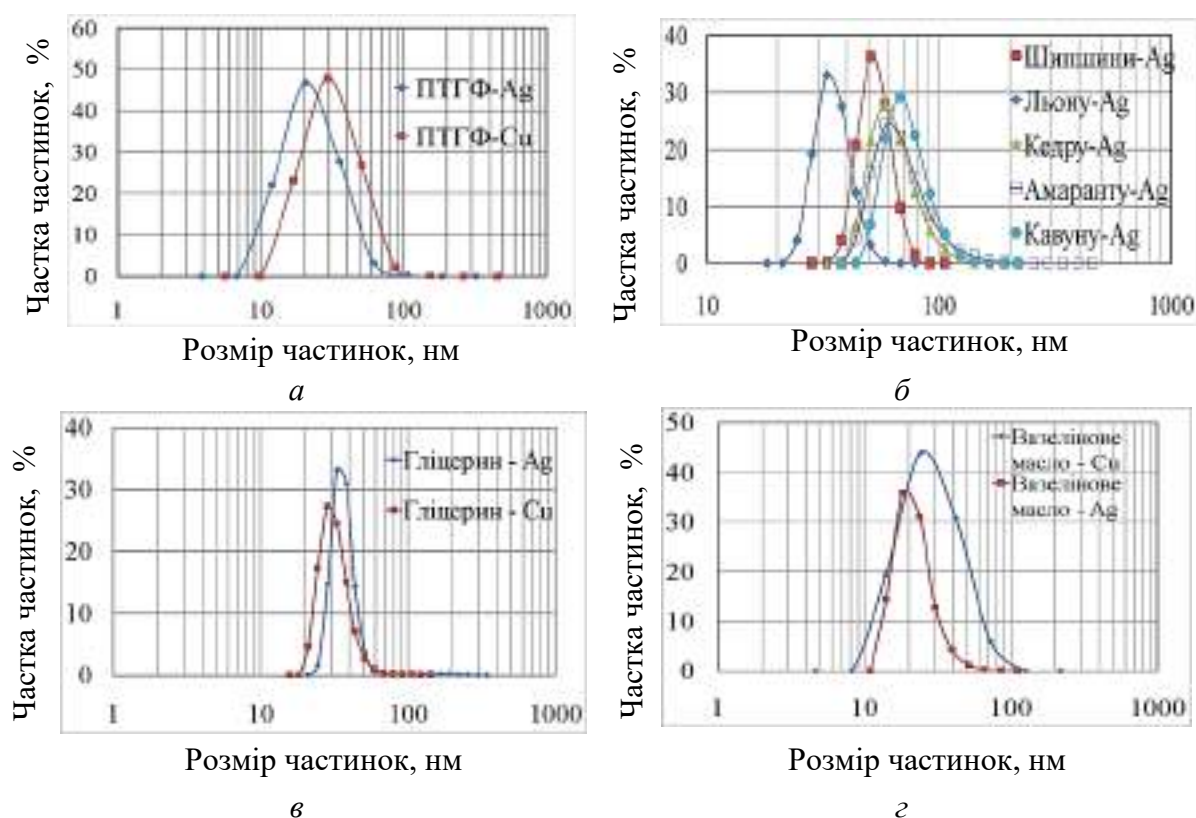


Рис. 2. Структура та характеристика наночастинок:

а, б – криві розподілення НЧ за розміром у дисперсних системах отримані (ЛКС);

в – світлопольне зображення НЧ міді та електронограма (ПЕМ);

г – гістограма розподілу НЧ за розмірами

В отриманій дисперсійній системі гліцерин – Ag присутні частинки із середнім гідродинамічним діаметром 22 нм і діапазоном розподілу від 10 до 120 нм (рис. 2, в). Результати ЛКС дисперсних систем на основі ПТГФ (рис. 2, а) свідчать про наявність частинок у діапазоні 10...120 нм. Середній розмір частинок становить 20 та 32 нм для срібла та міді відповідно. Результати дослідження ЛКС дисперсних систем на основі

рослинних олій, та вазелінове масло рис. 2, б, з свідчать, що гідродинамічні діаметри отриманих частинок знаходяться в діапазоні від 30...70 нм. Діапазон розподілу за розміром складає від 7...110 нм.

Результати електронної мікроскопії представлені на (рис. 3, а, в) показують, що синтезовані наночастинки мають еліпсоїдну форму, яка скоріш за все утворилась за рахунок коалесценції. Згідно побудованих гістограм (рис. 3, б, з) на основі отриманих мікрофотографій середній розмір наночастинок становить 19 нм та 58 нм відповідно для срібла і міді. Детальний аналіз отриманих електроннограм (рис. 3, д, е) свідчить про присутність срібла і міді з полікристалічною структурою. Це пояснюється присутністю концентричних кілець на електроннограмі, які утворені із окремих точок, що відповідають окремим монокристалам з різною орієнтацією з яких складаються наночастинки.

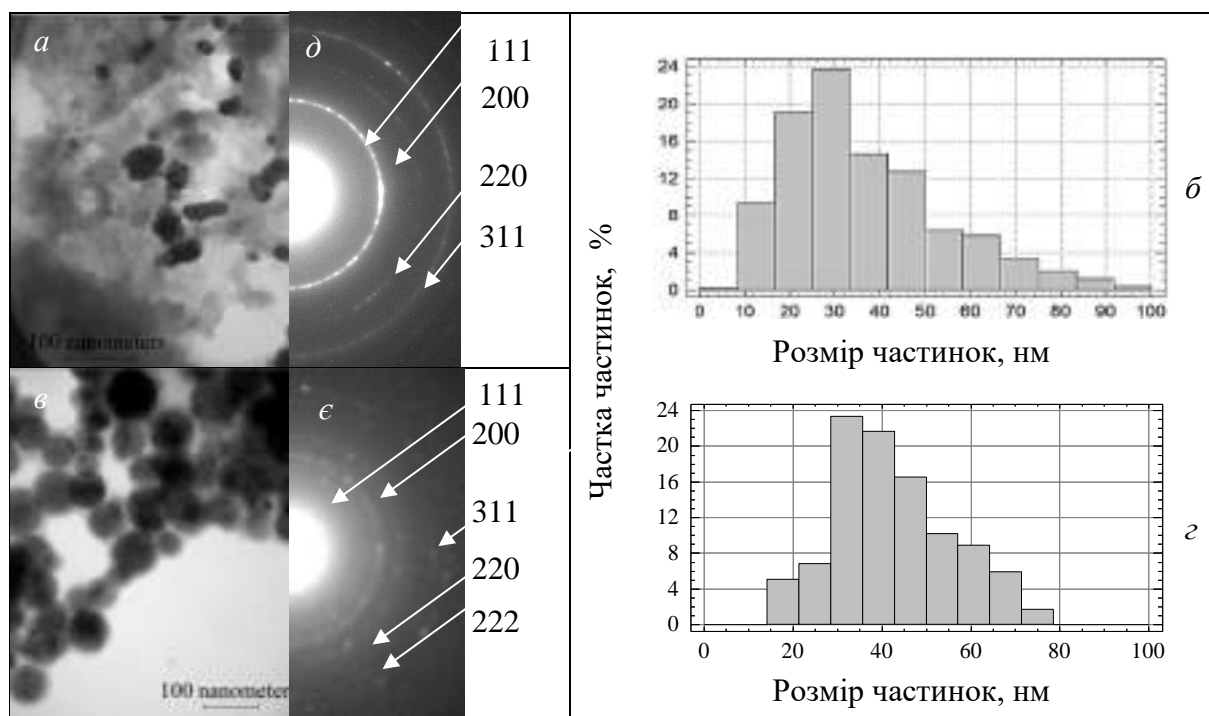


Рис. 3. Фотографії мікроструктури НЧ і електроннограми дисперсних систем, отримані методом ПЕМ:

а – ПТГФ + Ag; б – ПТГФ + Cu,

г, д – гістограма розподілу за розмірами наночастинок срібла та міді

Треба зауважити, що процес підготовки зразків для методу електронної мікроскопії, а саме відділення наночастинок від діелектричної матриці може призводити до агрегації наночастинок, що впливає на результати виміру їхніх розмірів.

Зміни розмірів частинок у часі, отримані послідовним вимірюванням за допомогою методу ЛКС, представлені на рис. 4 та 5. У всіх дослідженнях дисперсних системах, крім ПТГФ, спостерігається збільшення середнього розміру частинок. Для систем гліцерин – Ag ріст відбувається у продовж 10 діб, а для систем гліцерин – Cu у продовж 7 діб.

Зі збільшенням середнього розміру наночастинок спостерігається утворення осаду з агрегатів мікронного розміру внаслідок процесу седиментації. Також дисперсні системи з наночастинками срібла змінюють колір із коричневого на сірий відтінок, з наночастинками міді з коричневого на зелений відтінок. Додавання поверхнево активних речовин в об'єм дисперсних систем у свою чергу призводить до стабілізації середнього розміру НЧ срібла і міді у продовж що найменше 550 діб (рис. 4, а).



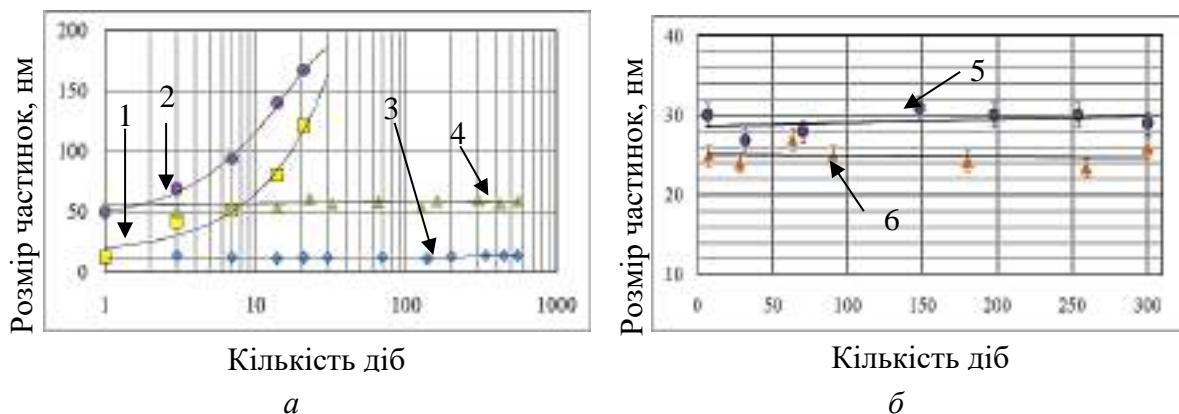


Рис. 4. Залежність середнього розміру частинок дисперсних систем від часу витримки (ЛКС):

*a* – на основі гліцерину; 1 – гліцерин – Ag; 2 – гліцерин – Si; та на основі гліцерину з ПВП; 3 – гліцерин – Ag – ПВП; 4 – гліцерин – Si – ПВП;  
*б* – на основі ПТГФ; 5 – ПТГФ – Si; 6 – ПТГФ – Ag

Зразки на основі ПТГФ демонструють стабільність середнього розміру наночастинок срібла і міді протягом 250 діб (рис. 4, б). Це пояснюється тим, що ПТГФ, на відміну від гліцерину, переходить з рідкого у твердий стан при температурі 296 К, утворюючи нанокомпозит ПТГФ – Me. Такий підхід сповільнює броунівський рух НЧ в об’ємі мономера, що унеможливує агломераційні та седиментаційні процеси.

На рис. 5, а представлені результати дослідження стабільності середнього розміру наночастинок срібла в оліях рослинного походження. Як видно із результатів, починаючи з 30 доби відбувається поступове збільшення розміру наночастинок, яке супроводжується утворенням осаду і зміною кольору дисперсних систем з темно-коричневого відтінку в світло-коричневий відтінок. Паралельно спостерігається розшарування дисперсій з утворенням границі розділу.

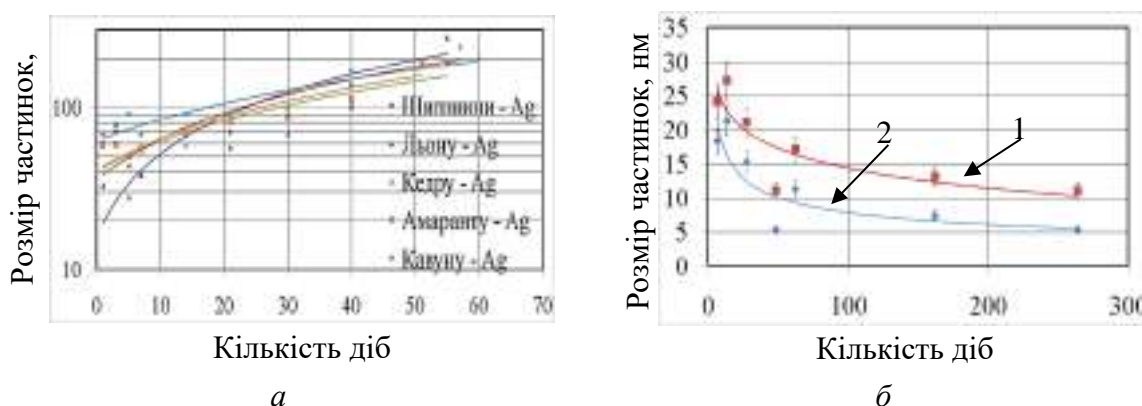


Рис. 5. Залежність середнього розміру частинок дисперсних систем від часу витримки (ЛКС):

*a* – дисперсні системи на основі жирних олій; *б* – дисперсні системи на основі вазелінове масло; 1 – наночастинок Si 253 мг/л; 2 – наночастинок Ag 129 мг/л

Слід враховувати, що рослинні олії є багатокомпонентними системами, до складу яких входять тригліцериди і жирні кислоти [23]. При цьому тригліцериди за рахунок кислотних радикалів, що складають їхню структуру, є високо реакційноздатними. У зв’язку з чим відбувається автоокислення і прогіркання олій при тривалому зберіганні. Дані процеси прискорюються в присутності металів змінної валентності. Тому нестійкість таких

систем пояснюються результатом взаємодії атомів срібла з дисперсійним середовищем матриці. На відміну від рослинних олій наночастинки у вазеліновому маслі (рис. 5, б) поступово агрегують і випадають в осад за рахунок седиментації у продовж 50 діб. У свою чергу в об'ємі залишається лише незначна кількість наночастинок розміром 5...10 нм що найменше 250 діб.

Запропонована технологічна схема демонструє практичну можливість одностадійного процесу синтезу наночастинок срібла й міді методом фізичного осадження у вакуумі. Направлений паровий потік безпосередньо на поверхню рідких матриць дозволяє отримувати дисперсні системи з металевими наночастинками розміром 15...52 нм переважно еліпсоїдної форми з полікристалічною структурою. Встановлена стабільність розміру наночастинок срібла і міді в часі в отриманих дисперсних системах становить 7...300 діб і залежить від дисперсної системи. Так матриці носії на основі гліцерину при концентрації 200...300 мг/л, зберігають середній розмір наночастинок у продовж 7...10 діб, що говорить про необхідність використання додаткових стабілізуючих агентів. Дисперсні системи на основі олій рослинного та синтетичного походження демонструють стабільності протягом 30 та 50 діб відповідно. Кращий результат показав політетрагідрофуран, що найменше впродовж 300 діб середній розмір наночастинок залишається стабільним у часі.

Використання мономерів з низькою температурою кристалізації дозволяє збільшити час дисперсної стабільності НЧ у 3...4 рази. У такому випадку сама матриця виступає стабілізуючим агентом і може стати альтернативою для додаткового використання поверхнево активних речовин, що спрощує процес зберігання НЧ і розширює області їх застосування.

**Висновки.** Запропонована технологічна схема демонструє практичну можливість одностадійного процесу синтезу наночастинок срібла і міді методом фізичного осадження у вакуумі. Направлений паровий потік безпосередньо на поверхню рідких матриць дозволяє отримувати дисперсні системи з металевими наночастинками розміром 15...52 нм переважно еліпсоїдної форми з полікристалічною структурою. Встановлена стабільність розміру наночастинок срібла й міді у часі в отриманих дисперсних системах становить 7...300 діб і залежить від дисперсної системи. Так, матриці носії на основі гліцерину при концентрації 200...300 мг/л, зберігають середній розмір наночастинок у продовж 7...10 діб, що говорить про необхідність використання додаткових стабілізуючих агентів. Дисперсні системи на основі олій рослинного та синтетичного походження демонструють стабільності впродовж 30 та 50 діб відповідно. Кращий результат показав політетрагідрофуран, що найменше впродовж 300 діб середній розмір наночастинок залишається стабільним у часі.

Використання мономерів з низькою температурою кристалізації дозволяє збільшити час дисперсної стабільності НЧ у 3...4 рази. У цьому випадку сама матриця виступає стабілізуючим агентом і може стати альтернативою для додаткового використання поверхнево активних речовин, що спрощує процес зберігання НЧ і розширює області їх застосування.

#### Список використаних джерел

1. Preparation of Noble Metal Nanoparticles and Hydrogel Composite Materials and Their Application in Analytical Chemistry / S. Wen, Y. Shuang-Ting, W. Yue-Liang, G. Long-Hua // Chinese Journal of Analytical Chemistry. – 2021. – № 49. – Pp. 676–685.
2. Study on the mechanical, electrical and optical properties of metal-oxide nanoparticles dispersed unsaturated polyester resin nanocomposites / M. T. Rahmana, A. Hoquea, G. T. Rahman et al. // Results in Physics. – 2019. – Vol. 13. – Pp. 1–8.

3. Role of non-functionalized oxide nanoparticles on mechanical properties and toughening mechanisms of epoxy nanocomposites / M. S. Goyat, A. Hooda, T. K. Gupta et al. // *Ceramics International*. – 2021. – Vol. 47, № 16. – Pp. 22316–22344.
4. Recent advances in essential oils-based metal nanoparticles: A review on recent developments and biopharmaceutical applications / S. S. Siva, L. Huizhen, Z. Zhijun et al. // *Journal of Molecular Liquids*. – 2021. – Vol. 333. – Pp. 1–15.
5. The use of noble metal coatings and nanoparticles for the modification of medical implant materials / T. V. Basova, D. S. Vikulova, S. I. Dorovskikh et al. // *Materials & Design*. – 2021. – Vol. 204. – Pp. 1–20.
6. Novel biologically active polyurethane materials containing silver and copper nanoparticles / Yu. Savelyev, A. Gonchar, B. Movchan et al. // *Polym. J.* – 2016. – Vol. 38, № 3. – Pp. 255-260.
7. Effect of silver nanoparticles on the physical and chemical properties of plant oil sand the anti-microbial activity / V. M. Minarchenko, R. V. Kutsyk, N. P. Kovalska et al. // *Biotechnologia Acta*. – 2017. – Vol. 10, № 6. – Pp. 35–44.
8. Stability and Reactivity: Positive and Negative Aspects for Nanoparticle Processing / X. Liang, L. Hai-Wei, Y. Yuan, Y. Shu-Hong. // *Chemical Reviews*. – 2018. – Vol. 118, № 7. – Pp. 3209-3250.
9. Krishnamoorthy A. Role of Surfactants on the Stability of Nano Zinc Oxide Dispersions / A. Krishnamoorthy, S. Varghese // *Particulate Science and Technology*. – 2017. – Vol. 35, No. 1. – Pp. 67–70.
10. The influence of ionic and nonionic surfactants on aggregative stability and electrical surface properties of aqueous suspensions of titanium dioxide / N. H. Tkachenko, Z. M. Yaremko, C. Bellmann, M. M. Soltys // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2006. – Vol. 299, Issue 2. – Pp. 686–695.
11. Water–ethanol CuOx nanoparticle colloids prepared by laser ablation: Colloid stability and catalytic properties in nitrophenol hydrogenation / D. A. Goncharova, T. S. Kharlamova, O. A. Reutova, V. A. Svetlichnyi // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2021. – № 613. – Art. 126115.
12. Stability evolution of ultrafine Ag nanoparticles prepared by laser ablation in liquids / C. Qi, Y. Yixing, W. Shouliang et al. // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2021. – Vol. 585. – Pp. 444-451.
13. Movchan B. A. Inorganic materials and coatings produced by EB PVD / B. A. Movchan. – *Surface Engineering* – 2006. – Vol. 22. – Pp. 35-46.
14. Мовчан Б. А. Наноструктурные покрытия серебра и меди на порошках неорганических и органических веществ, осаждаемые из паровой фазы в вакууме / Б. А. Мовчан, И. С. Ковинский // *Физико-технические проблемы современного материаловедения*. – 2013. – Т. 2. – С. 127-139.
15. Movchan B. A. Discrete nanosized metallic coatings produced by EB-PVD / B. A. Movchan // *Surface Engineering*. – 2016. – № 32. – Pp. 258–266.
16. Ковинский И. С. Наноразмерные дискретные покрытия оксида меди на кристаллах хлорида натрия, осажженные из паровой фазы в вакууме / И. С. Ковинский, А. В. Горноста́й // *Современная электрометаллургия*. – 2012. – № 2 (107). – С. 50-52.
17. Методические указания 4.1.148203 «Определение химических элементов в биологических средах и препаратах методами атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой и масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой». – М.: Минздрав России, 2003. – 16 с.
18. Томсон М. Руководство по спектрометрическому анализу с индуктивно связанной плазмой / М. Томсон, Д. Н. Уолш. – М.: Недра, 1988. – 288 с.
19. Detection Limits of DLS and UV-Vis Spectroscopy in Characterization of Polydisperse Nanoparticles Colloids / E. Tomaszewska, K. Soliwoda, K. Kadziola et al. // *Journal of Nanomaterials*. – 2013. – Art. 313081.
20. Равделя А. А. Краткий справочник физико-химических величин / А. А. Равделя; под ред. А. М. Пономаревой. – Л.: Химия, 1983. – 200 с.
21. Липатов Ю. С. Структура и свойства полиуретанов / Ю. С. Липатов, Ю. Ю. Керча, Л. М. Сергеева. – К.: Наукова думка, 1970. – 288 с.
22. Малинич С. З. Локалізовані Електромагнітні збудження уметалевих та метал-діелектричних наночастинках: дис. ... д-ра фіз.-мат. наук: 01.04.07 / Малинич Сергій Захарович – Київ, 2016. – 303 с.
23. Химия жиров / Б. Н. Тютюнников, З. И. Бухштаб, Ф. Ф. Гладкий и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1992. – 448 с.

### References

1. Wen, S., Shuang-Ting, Y., Yue-Liang, W., & Long-Hua, G. (2021). Preparation of Noble Metal Nanoparticles and Hydrogel Composite Materials and Their Application in Analytical Chemistry. *Chinese Journal of Analytical Chemistry*, (49), 676–685.
2. Rahmana, M.T., Hoquea, A., Rahmana, G.T., Gafur, M.A., Khan, R. A., & Hossain, M. K. (2019). Study on the mechanical, electrical and optical properties of metal-oxide nanoparticles dispersed unsaturated polyester resin nanocomposites. *Results in Physics*, 13, 1–8.
3. Goyat, M. S., Hooda, A., Gupta, T. K., Kumar, K., Halder, S., Ghosh, P.K., & Dehiya, B.S. (2021). Role of non-functionalized oxide nanoparticles on mechanical properties and toughening mechanisms of epoxy nanocomposites. *Ceramics International*, 47(16), 22316–22344.
4. Siva, S. S., Huizhen, L., Zhijun, Z., & Minaxi, S. (2021). Recent advances in essential oils-based metal nanoparticles: A review on recent developments and biopharmaceutical applications. *Journal of Molecular Liquids*, 333, 1–15.
5. Basova T. V., Vikulova E. S., Dorovskikh S. I., Hassan A., & Morozova N.B. (2021). The use of noble metal coatings and nanoparticles for the modification of medical implant materials. *Materials & Design*, 204, 1–20.
6. Savelyev, Yu., Gonchar, A., Movchan, B., Gornostai, O., Vozianov, S., Rudenko, A., Rozhnova, R., & Travinskaya, T. (2016). Novel biologically active polyurethane materials containing silver and copper nanoparticles. *Polym. J.*, 38(3), 255-260.
7. Minarchenko, V. M., Kutsyk, R. V., Kovalska, N. P., Movchan, B. O., Hornostai, O. V., Strumenska, O. M., & Makhynia, L. M. (2017). Effect of silver nanoparticles on the physical and chemical properties of plant oil sand the antimicrobial activity. *Biotechnologia Acta*, 10(6), 35–44.
8. Liang, X., Hai-Wei, L., Yuan, Y., & Shu-Hong, Y. (2018). Stability and Reactivity: Positive and Negative Aspects for Nanoparticle Processing. *Chemical Reviews*, 118(7), 3209-3250.
9. Krishnamoorthy, A., & Varghese, S. (2017). Role of Surfactants on the Stability of Nano Zinc Oxide Dispersions. *Particulate Science and Technology*, 35(1), 67–70.
10. Tkachenko, N. H., Yaremko, Z. M., Bellmann, C., & Soltys, M. M. (2006). The influence of ionic and nonionic surfactants on aggregative stability and electrical surface properties of aqueous suspensions of titanium dioxide. *Journal of Colloid and Interface Science*, 299(2), 686–695.
11. Goncharova, D. A., Kharlamova, T. S., Reutova, O. A., & Svetlichnyi, V. A. (2021). Water-ethanol CuOx nanoparticle colloids prepared by laser ablation: Colloid stability and catalytic properties in nitrophenol hydrogenation. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, (613), 126115.
12. Qi, C., Yixing, Y., Jun, L., Shouliang, W., Pengfei, L., Changhao, L. (2021). Stability evolution of ultrafine Ag nanoparticles prepared by laser ablation in liquids. *Journal of Colloid and Interface Science*, 585, 444-451.
13. Movchan, B.A. (2006). Inorganic materials and coatings produced by EB PVD. *Surface Engineering*, 22, 35-46.
14. Movchan, B.A. (2013). Nanostrukturnye pokrytiia serebra i medi na poroshkakh neorganicheskikh i organicheskikh veshchestv, osazhdemnye iz parovoi fazy v vakuume [Nanostructured silver and copper coatings on powders of inorganic and organic substances, deposited from the vapor phase in a vacuum]. *Fiziko-tekhnicheskie problemy sovremennogo materialovedeniia – Physical and technical problems of modern materials science*, 2, 17-139.
15. Movchan, B.A. (2016). Discrete nanosized metallic coatings produced by EB-PVD. *Surface Engineering*, (32), 258–266.
16. Gornostai, A.V., Kovinskii, I.S. (2012). Nanorazmernye diskretnye pokrytiia oksida medi na kristallakh khlorida natriia, osazhdennye iz parovoi fazy v vakuume [Nano-sized discrete coatings of copper oxide on sodium chloride crystals, deposited from the vapor phase in a vacuum]. *Sovremennaiia elektrometallurgiiia – Modern electrometallurgy*, (2(107)), 50-52.
17. *Metodicheskie ukazaniia 4.1.148203 “Opredelenie khimicheskikh elementov v biologicheskikh sredakh i preparatakh metodami atomno-emissionnoi spektrometrii s induktivno-sviazannoi plazmoi i masspektrometrii s induktivno-sviazannoi plazmoi” [Methodical instructions 4.1.148203 “Determination of chemical elements in biological media and preparations by atomic emission spectrometry with inductively coupled plasma and mass spectrometry with inductively coupled plasma”]*. (2003). Ministry of Health of Russia.

18. Tomson, M., Uolsh, D. N. (1998). *Rukovodstvo po spektrometricheskomu analizu s induktivno sviazannoi plazmoi [Inductively Coupled Plasma Spectrometric Analysis Guide]*. Nedra - Bosom.
19. Tomaszewska E., Soliwoda K., Kadziola K., Tkacz-Szczesna B., Celichowski G., Cichomski M., Szmaja W., Grobelny J. (2013). Detection Limits of DLS and UV-Vis Spectroscopy in Characterization of Polydisperse Nanoparticles Colloids. *Journal of Nanomaterials*, 313081.
20. Ravdelia, A.A., Ponomareva, A.M. (Ed.). (1983). *Kratkii spravochnik fiziko-khimicheskikh velichii [A quick reference book of physical and chemical quantities]*. Khimiia.
21. Lipatov, Iu. S., Kercha, Iu. Iu., Sergeeva, L. M. (1970). *Struktura i svoistva poliuretanov [Structure and properties of polyurethanes]*. Naukova dumka.
22. Malynych, S. Z. (2016). Lokalizovani Elektromahnitni zbudzhennia umetalevykh ta metal-dielktrychnykh nanochastynkakh [*Localized Electromagnetic excitations of metal and metal-dielectric nanoparticles*] [abstract PhD dissertation, Kyiv National Academy of Science of Ukraine].
23. Tiutiunnikov, B. N., Bukhshtab, Z. I., Gladkii, F. F. (1992). *Khimiia zhirov [Chemistry of fats]*. Kolos.

Отримано 10.08.2021

UDC66.063.62

**Oleksii Gornostai**

I-Category Engineerstate-Run

Company «International Center for Electron Beam Technologies of E.O. Paton Electric Welding Institute»

E-mail: [gornostai.o.v@gmail.com](mailto:gornostai.o.v@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4961-7397>

## **EVOLUTION OF Ag AND Cu NANOPARTICLES STABILITY IN DISPERSED SYSTEMS OBTAINED BY THE PHYSICAL DEPOSITION METHOD IN VACUUM**

*The unique properties of metal nanoparticles (NPs) are increasingly used in the pharmaceutical, medical, food, textile and paint industries. It is known that the properties of NPs depend on the shape, size, concentration and method of obtaining. Agglomeration processes that occur during the production and storage of NPs lead to a reduction in the size of the specific area to the volume of NPs, which in turn leads to the loss of the unique properties of NPs.*

*In the process of analyzing domestic and foreign literature, it was found that the problem of agglomeration processes of NPs is relevant. One of the possible approaches to solving the agglomeration of synthesized NPs, which is proposed in this work is the use of matrices of carriers. In this case, liquids can be the matrix: monomers, oils of vegetable origin or medical substances that are constituent tablets, capsules, ointments, soaps and paints.*

*The aim of this study was to determine the stability of the aggregation of synthesized NPs of silver and copper in the obtained dispersed systems based on liquid matrices of synthetic and natural origin, using the method of electron-beam deposition in vacuum.*

*The morphology, size, structure and time stability of silver and copper NPs in the obtained dispersed systems were studied. Examples of stability of dispersed systems based on glycerol, polytetrahydrofuran, oils of synthetic and vegetable origin with NPs of metals with a size of 15... 52 nm are presented. The stability of dispersed systems was improved by using dispersed systems based on matrices with low crystallization temperature. The use of monomers with a low crystallization temperature can be an alternative for the additional use of surfactants, which simplifies the process of storage of NPs and expands their scope.*

**Keywords:** EB-PVD; dispersed systems; nanoparticles of silver and copper.

*Fig.: 5. Tables: 1. References: 23.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-78-84

УДК 621.311.6

**Володимир Халіков<sup>1</sup>, Анатолій Жерносеков<sup>2</sup>, Олександр Шатан<sup>3</sup>, Андрій Муха<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>доктор 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](mailto:xvavlad@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-1691-5005>

<sup>2</sup>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](mailto:zhernosekov@paton.kiev.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6404-2221>

<sup>3</sup>науковий співробітник

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України (Київ, Україна)

E-mail: [shatanaf57@gmail.com](mailto:shatanaf57@gmail.com). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6553-7421>

<sup>4</sup>провідний інженер

науково-технічний комплекс “Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона” НАН України (Київ, Україна)

E-mail: [a.mukha@ntk.in.ua](mailto:a.mukha@ntk.in.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9810-4569>

## ФОРМУВАННЯ ВОЛЬТ-АМПЕРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗВАРЮВАЛЬНОЇ ДУГИ

Актуальними є дослідження щодо поліпшення ефективності технології дугового зварювання та функціонування обладнання. Розглянута теоретична й апаратна реалізація зворотних зв'язків систем управління трифазними дуговими випрямлячами для належного формування їхніх вольт-амперних характеристик і модифікацій зворотних зв'язків систем. Розроблена універсальна й компактна система управління дуговими випрямлячами з можливістю її застосування в установках для зварювання в середовищі інертних і активних газів.

**Ключові слова:** зварювальна дуга; джерело живлення; регулювання; випрямлячі; зворотні зв'язки; вольт-амперна характеристика.

Рис.: 5. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** Дугове зварювання плавким і неплавким електродом посідає перше місце при виготовленні різноманітних конструкцій та виробів [1], у тому числі в різних просторових положеннях, а також під водою [2; 3]. Тому актуальними є дослідження щодо поліпшення ефективності технології зварювання та функціонування устаткування.

**Постановка проблеми.** Сучасний етап розвитку технологій зварювання металів характеризується широким застосуванням електронних систем управління та регулювання для устаткування. Тенденції до функціонального та апаратного ускладнення такого роду електротехнічних установок вимагають належного комп'ютерного моделювання систем і їхніх вузлів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження процесів дугового зварювання мають як більш теоретичний характер щодо фізики плазми дуги [4], так і практичний щодо устаткування та джерел живлення зварювальної дуги [5; 6; 7]. Але залишається беззаперечною необхідністю подальшого застосування програмних пакетів автоматизованого проєктування із можливостями трансляції одержаних результатів відразу у виробництві.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Для установок електродугового зварювання важливим є форма та характер поведінки вольт-амперних характеристик (ВАХ) їхніх джерел живлення. При цьому ВАХ фактично забезпечують зварювально-технологічні властивості джерела живлення дуги та визначають ефективність технології зварювання. Нині досить поширено використання різних систем візуального імітаційного моделювання, наприклад, програмних пакетів MATLAB із пакетом візуального моделювання Simulink. Таке моделювання може бути ефективним при розробці систем управління джерелами живлення для дугових процесів зварювання, особливо в системах з кількома зворотними зв'язками.

**Метою дослідження** є підвищення ефективності зварювальних процесів за рахунок розробки систем управління випрямлячів шляхом імітаційного моделювання.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо систему регулювання трифазним дуговим випрямлячем. Такі установки завжди були достойною альтернативою інверторним дже-релам струму дуги, особливо в області суттєво значних значень струмів, де відбуваються більші спотворення струму живлячої мережі.

У моделі рис. 1, виконаній у середовищі візуального моделювання Simulink- MATLAB, для узгодження електротехнічних елементів і їхніх зв'язків із математичними блоками використовуються проміжні елементи: ID (Current Measurement) U1, U2, U3, UD (Voltage Measurement) – аналоги вимірювальних трансформаторів струму та напруги. Модель дозволяє маніпулювати значеннями зворотних зав'язків (33) як по струму навантаження (Gain1), так і по напрузі на ньому (Gain 2,). Функцію опорної напруги –  $U_0$  із діапазоном значень  $0 \dots 10$  виконує блок Slider Gain, що підключений до суматора Sum. Ці значення блоком Fcn приводяться до необхідних ( $5^0 \dots 115^0$ ) для входу alpha\_deg синхронізатора, для цього в діалоговому вікні Expression блоку повинно бути задана функція:  $u*((115-5)/10)+5$ .

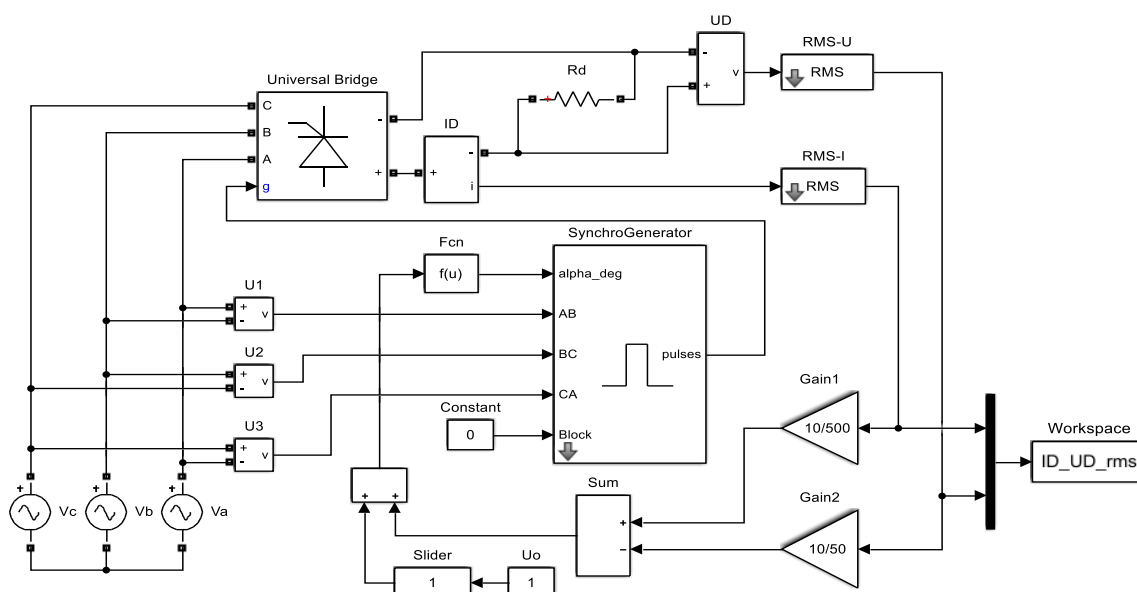


Рис. 1. Імітаційна модель системи джерела живлення зі зворотними зв'язками

Одержання ВАХ полягає в одночасному застосуванні файлу моделі та m-файлу, який задає значення навантаження, запускає процес моделювання, зчитує його результат із робочої пам'яті (Workspace), змінює величину навантаження і повторює знову ту ж саму процедуру. Після закінчення циклу моделювання по одержаних даних він будує власні ВАХ у заданих координатах. Таким чином, необхідно одночасно використовувати власну модель та редактор-відладчик із відкритим m-файлом, причому останній фактично забезпечує автоматизацію процесу одержання результатів. Більш відкрита архітектура організації обчислень в MATLAB дозволяє виконувати такий багатократний параметричний аналіз процесів у рамках використання того самого середовища, що недоступно для інших замкнених систем моделювання.

Конкретні приклади m-файлів із відповідними коментарями та методика їх застосування були авторами детально висвітлені у [8]. Там само показано, як можна досягти спрощення процедур, уникнувши використання відладчика та запускаючи m-файл прямо із вікна моделі.

Якщо задати значення коефіцієнтів передачі обох блоків Gain нульовими, то результатом наведених дій буде згенерований графік сімейства ВАХ при варіаціях  $U_0$  ( $0 \dots 8$ ), що і показано на рис. 2. Ці характеристики показують енергетичні можливості джерела струму при різних значеннях опорної напруги за відсутності в системі 33.

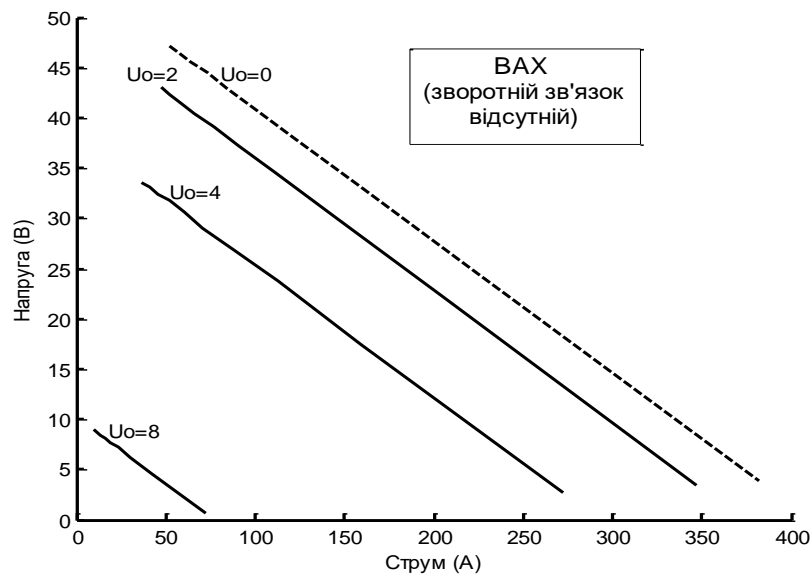


Рис. 2. Вольт-амперні характеристики джерела за відсутності зворотного зв'язку

Зміна опорного параметру  $U_0$  призводить до зміщення ВАХ у напрямку зменшення струму та напруги і їх розміщенню паралельно граничній прямій, що характеризується параметром  $U_0 = 0$  (рис. 2), щ підвищує максимальні можливості джерела струму з погляду енерговіддачі (на рис. 2 штрихова лінія).

Якщо в системі із двома каналами ЗЗ (рис. 1), пронормувати до одиничного значення величини коефіцієнтів підсилення по струму  $K_i = 10/500$  (Gain 1) та по напрузі  $K_u = 10/50$  (Gain 2) і відповідним чином здійснити варіацію значень цих коефіцієнтів, застосовуючи згадану методологію, то одержимо сімейство характеристик (рис. 3). Як видно з рис. 3, нормоване значення коефіцієнта підсилення по струму для Gain 1 незмінне і рівне 1,2 що відповідає його параметру  $K_i = 12/500$ . Відповідно для Gain 2 в області середніх значень струмів дуги 40...175А нормоване значення коефіцієнта підсилення по напрузі може бути незмінним (0,75) і лише в областях малих та великих струмів для цієї ВАХ цей коефіцієнт необхідно дещо збільшити.

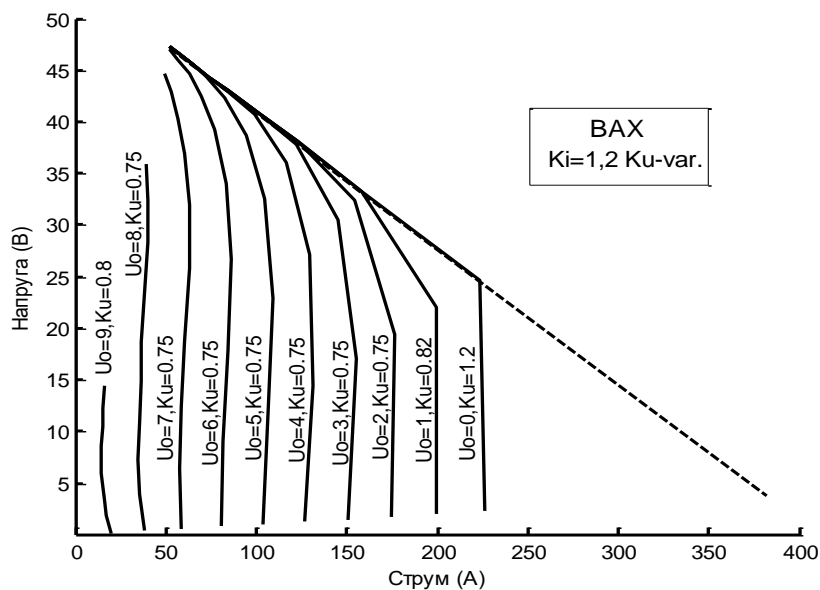


Рис. 3. Вольт-амперні характеристики джерела дуги зі зворотними зв'язками



У підсумку ефект досягається взаємовідніманням сигналів обох каналів зворотного зв'язку. Із рис. 3 видно, що в області середніх струмів 40...175А немає потреби змінювати значення  $K_u$  ( $K_u = 0,75$ ), в області малих струмів необхідність корекції досить незначна (збільшення  $K_u$  від 0,75 до 0,8), проте при нарощуванні струму навантаження до максимального, величину коефіцієнта необхідно збільшити на 60 % (із 0,75 до 1,2). Причиною є нелінійність характеристики випрямляча, що пов'язана з фазовим регулюванням синусоїдальної напруги. Варіації значень  $K_u$ , від наведених на рис. 3 в ту чи іншу сторону, призведуть до візуального ефекту «випуклості» або «пологості» вертикального відрізка ВАХ.

При технології ручного дугового зварювання з крапельним перенесенням металу електрода необхідно формувати більш складну форму ВАХ джерела. Адже процес проходить із епізодичними, проте досить частими замиканнями дугового проміжку. При цьому зміна режиму теплопередачі в районі шва супроводжується так званим «заліпанням» електрода, чим створюються некомфортні умови роботи, знижується продуктивність праці. Усунення цього ефекту можливе через відповідне збільшення величини струму в момент замикання дугового проміжку. При цьому за рахунок інтенсифікації виділення тепла проходить прискорене руйнування перемички між краплею та власне електродом і відбувається відновлення дугового проміжку.

Система з реалізацією такого принципу може бути модифікацією моделі рис. 1, коли наявна інформація про замикання дугового проміжку. Переважно зниження напруги між електродом та виробом до значень  $U_{kz} = 7...14В$  досить однозначно про це свідчать. Реалізація цієї функції повинна полягати в такій модифікації кола ЗЗ, при якому зменшення величини  $U_d$  нижче за рівень  $U_{kz}$  приводить до належного зменшення рівня ЗЗ по струму. Наприклад, через зміну значення коефіцієнта підсилення для блоку Gain 1. Після моделювання кінцевим результатом такого функціонування системи буде сімейство ВАХ, наведене на рис. 4.

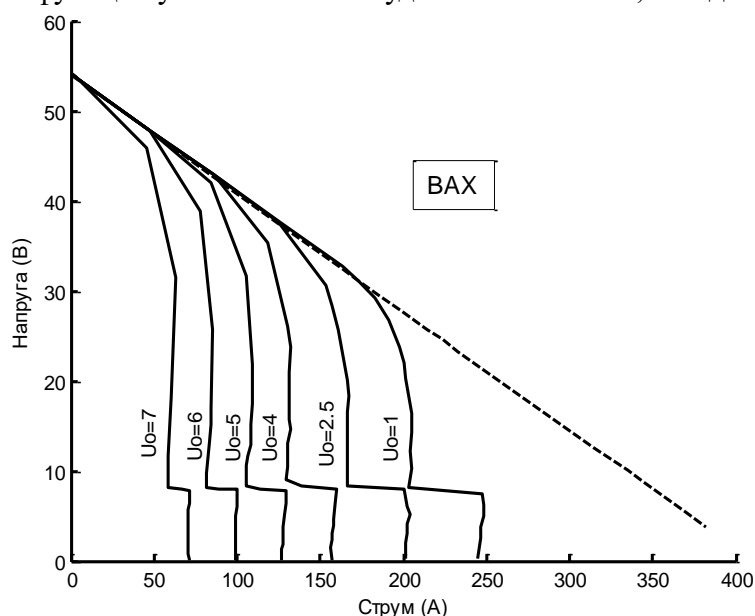


Рис. 4. Вольт-амперні характеристики джерела дуги з урахуванням технології зварювання

Були розроблені системи із формуванням ВАХ, в областях напруг нижче рівня  $U_{kz}$ , шляхом поступового, а не ступінчатого збільшення струму дуги. При цьому технологічні процеси можуть носити більш м'який характер за рахунок плавного наростання струму навантаження, що може сприяти меншому розбризкуванню металу із зони зварювання. Різке ступінчате наростання струму приводить до підвищеного розбризкування та збільшує динамічне навантаження на обмотки силового трансформатора.

Формування бажаних ВАХ – це далеко не єдина проблема, перед якою постають при розробці та проектуванні систем регулювання дуговими випрямлячами. До цього можна віднести, наприклад, реалізацію модуляції струму дуги та регулювання параметрів модуляції, як в часі так і по амплітуді струму. Також необхідним є нечутливість схеми управління до порядку почерговості фаз мережі живлення.

Безумовно, що однією з основних задач при вирішенні задач керування є також реалізація датчиків енергетичних параметрів зварювальної дуги, організація їх взаємозв'язку з первинними джерелами струму дуги спрямоване поліпшення або дотримання багатьох параметрів та характеристик. До них можна віднести: електричну сумісність; завадостійкість; гальванічну роз'єднаність із силовими колами (клас ізоляції); належний статичний діапазон роботи; відповідний динамічний діапазон роботи. Але основною вимогою була допустимість формування за їх допомогою належних ВАХ відповідно до рис. 2, 3, 4.

Було розроблено датчик струму та напруги дуги, в якому реалізовувалися переваги оптичного зв'язку силових кіл із системою управління.

Основним компонентом використано підсилювач HCPL-7840 із диференціальними та оптично ізольованими входом та виходом. Це дозволило реалізувати датчик струму і датчики напруги із метою одержання можливостей регулювання форми вольт-амперних характеристик джерела струму дуги. Це дозволяє концептуально виконати більшість згаданих вимог до такого роду пристроїв.

У результаті вирішення цих задач була розроблена достатньо універсальна система управління дуговими випрямлячами серії ВДУ, один із типоміналів ВДУ-506п, яких наведено на рис. 5. Основні регулюючі функції системи реалізовані на базі мікроконтролера ATmega48P, що надає можливості її застосування також в установках для зварювання в середовищах інертних та активних газів.



*Рис. 5. Установка для зварювання в середовищах інертних та активних газів*

Джерело: [9].

Функціональні можливості системи апробовані не тільки на серійних зразках обладнання, а і в одиничних зразках джерел струму дуги зварювання під шаром флюсу номінальним струмом 1200 А.

**Висновки.** 1. Дугове зварювання посідає перші місця при виготовленні різноманітних конструкцій та виробів, тому актуальними є дослідження щодо поліпшення ефективності технологій зварювання та функціонування устаткування шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання.

2. Розглянута теоретична і апаратна реалізація зворотних зав'язків систем управління трифазними дуговими випрямлячами для належного формування їх вольт-амперних характеристик і модифікацій зворотних зав'язків систем, що дозволяє підвищити ефективність зварювальних процесів.

3. Розроблена методика може застосовуватись для створення універсальних систем управління дуговими випрямлячами для зварювання в середовищі інертних і активних газів на струм до 1200 А.

### Список використаних джерел

1. Применение импульсных воздействий при дуговой сварке плавящимся электродом в среде защитных газов (Обзор) [Электронный ресурс] / В. А. Лебедев, С. В. Драган, Г. В. Жук, С. В. Новиков, И. В. Симутенков // Автоматичне зварювання. – 2019. – № 8. – С. 30-40. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15407/as2019.08.04>.

2. Максимов С. Ю. Герметизация труб теплообменников «мокрой» сваркой на глубине 200 м / С. Ю. Максимов, В. А. Лебедев, И. В. Лендел // Вопросы материаловедения. – 2015. – № 1. – С. 199–204.

3. Максимов С. Ю. Разработка технологии герметизации труб теплообменника автоматической мокрой подводной сваркой [Электронный ресурс] / С. Ю. Максимов // Автоматическая сварка. – 2017. – № 5-6. – С. 68-71. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15407/as2017.06.11>.

4. Бої У. Процеси зварювання неплавким електродом з модуляцією зварювального струму (Огляд). Частина I. Особливості горіння нестационарних дуг з тугоплавким катодом [Електронний ресурс] / У. Бої, І. Кривцун // Автоматичне зварювання. – 2019. – № 11. – С. 29-39. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15407/as2019.11.05>.

5. Lebedev V. Study of technological opportunities of GMA welding and surfacing with pulse electrode wirefeed / V. Lebedev, U. Reisinger, I. Lendel // Welding in the World. – February 2016. – Pp. 9–14. DOI:10.1007/s40194-016-0321-0.

6. Бурлака В. В. Иверторный прямоходовый источник питания с повышенным коэффициентом мощности [Электронный ресурс] / В. В. Бурлака, С. В. Гулаков, С. К. Поднебенная // Автоматическая сварка. – 2017. – № 3. – С. 59-61. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15407/as2017.03.08>.

7. Цыбулькин Г. А. Исследование импульсно-дуговых процессов при периодическом изменении вольт-амперных характеристик источника питания дуги [Электронный ресурс] / Г. А. Цыбулькин // Автоматическая сварка. – 2019. – № 7. – С. 3-8. – Режим доступа: <https://doi.org/10.15407/as2019.07.01>.

8. Халіков В. А. Шляхи та засоби вдосконалення установок електродугового зварювання / В. А. Халіков, К. А. Липківський, О. Ф. Штан // Технічна електродинаміка. – 2009. – № 1. – С. 77-80.

9. ВДУ-506П (380 В) сварочный выпрямитель универсальный [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://www.rvs-tehno-m.ru/vdu-506p.htm>.

### References

1. Lebedev, V. A., Dragan, S. V., Zhuk, G. V., Novikov, S. V., & Simutenkov, I. V. (2019). Primenenie impulsnykh vozdeistvii pri dugovoi svarke plaviashchymia elektrodom v srede zashchitnykh gazov (Obzor) [Application of pulsed impact in consumable electrode gas-shielded arc welding (Review)]. *Avtomatichne zvariuvannia – Automatic welding*, (8), 30-40. <https://doi.org/10.15407/as2019.08.04>.

2. Maksimov, S. Yu., Lebedev, V. A., & Lendel, I. V. (2015). Germetyzatsiia trub teploobmennikov «mokroi» svarkoi na glubine 200 m [Sealing tubes of heat exchangers by “wet” welding at a depth of 200 m]. *Voprosy materialovedeniia – Questions of materials science*, (1), 199–204.

3. Maksimov, S. Yu. (2017). Razrabotka tekhnologii germetizatsii trub teploobmennika avtomaticheskoi mokroi podvodnoi svarkoi [Development of technology of sealing heat exchanger pipes by automatic wet underwater welding]. *Avtomatichne zvariuvannia – Automatic welding*, (5-6), 68-71. <https://doi.org/10.15407/as2017.06.11>.

4. Boi, U., & Krivtsun, I. V. (2019). Protsesy zvariuvannia neplavkym elektrodom z moduliatsiieiu zvariualnogo strumu (Ohliad). Chastyna I. Osoblyvosti horinnia nestatsionarnykh duh z tuhoplavkym katodom [Processes of nonconsumable electrode welding with welding current modulation (Review). Part 1. Peculiarities of burning of nonstationary arcs with refractory cathode]. *Avtomatichne zvariuvannia – Automatic welding*, (11), 29-39. <https://doi.org/10.15407/as2019.11.05>.

5. Lebedev, V., Reisinger, U., & Lendel I. (February 2016). Study of technological opportunities of GMA welding and surfacing with pulse electrode wirefeed. *Welding in the World*, 9–14. DOI:10.1007/s40194-016-0321-0.

6. Burlaka, V. V., Gulakov, S. V., & Podnebennaia, S. K. (2017). Ivertornyi priamokhodovyi istochnik pitaniia s povyshennym koieffitsientom moshchnosti [Forward inverter source with increased power factor]. *Avtomatichne zvariuvannia – Automatic welding*, (3), 59-61. <https://doi.org/10.15407/as2017.03.08>.

7. Tsybulkin, G. A. (2019). Issledovanie impulsno-duhovykh protsessov pri periodicheskom izmenenii volt-ampernykh kharakteristik istochnika pitaniia dugi [Study of pulsed arc processes at periodic switching of volt-ampere characteristics of arc power source]. *Avtomatichne zvariuvannia – Automatic welding*, (7), 3-8. <https://doi.org/10.15407/as2019.07.01>.

8. Khalikov, V. A., Lipkovsky, K. O., Pakhanyan, V. M., & Shatan, A. F. (2004). Shliakhy ta zasoby vdoskonalennia ustanovok elektroduhovoho zvariuvannia [Study of energy efficiency of welding arc sources with modern software packages for modeling]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamic*, (3), 17-22.

9. VDU-506P (380 V) svarochnyi vypryamitel universalnyi [VDU-506P (380 V) universal welding rectifier]. <http://www.rvs-tehno-m.ru/vdu-506p.htm>.

Отримано 15.07.2021

UDC 621.311.6

**Volodymyr Khalikov<sup>1</sup>, Anatolii Zhernosekov<sup>2</sup>, Alexander Shatan<sup>3</sup>, Andrii Mukha<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Doctor 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](mailto:xvavlad@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1691-5005>

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of Department of Impulse Processes and Arc Welding Technologies E.O. Paton Electric Welding Institute (PWI) (Kyiv, Ukraine)  
E-mail: [zhernosekov@paton.kiev.ua](mailto:zhernosekov@paton.kiev.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6404-2221>

<sup>3</sup>Scientific Researcher

E.O. Paton Electric Welding Institute (PWI) (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [shatanaf57@gmail.com](mailto:shatanaf57@gmail.com). ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-6553-7421>

<sup>4</sup>Leading Engineer

Scientific and Technical Complex E. O. Paton Electric Welding Institute (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [a.mukha@ntk.in.ua](mailto:a.mukha@ntk.in.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9810-4569>

## FORMATION OF VOLT-AMPER CHARACTERISTICS OF WELDING ARC POWER SOURCES

*Arc welding with a consumable and non-consumable electrode takes first place in the manufacture of various designs and products. Therefore, research on improving the efficiency of welding technology and the functioning of equipment is relevant. The aim of the work is to increase the efficiency of welding processes by developing rectifier control systems.*

*For electric arc welding installations, the shape and behavior of the current-voltage characteristics of their power source is important. The theoretical and hardware implementation of the feedbacks of the control system of three-phase arc rectifiers for the proper formation of their current-voltage characteristics and modifications of the feedback systems are considered.*

*One of the main tasks in solving control problems is the implementation of sensors of the energy parameters of the welding arc, the organization of their relationship with the primary sources of arc current, aimed at improving or observing a number of parameters and characteristics: electrical compatibility; noise immunity; galvanic isolation with power circuits (insulation class); proper static range of operation; corresponding dynamic range of work. An arc current and voltage sensor has been developed, which implements the advantages of optical communication between power circuits and a control system. A modern control system has been developed, the basis of which is a microcontroller and the widespread use of modern optoelectronic means for separating electrical signals. A universal and compact control system for arc rectifiers with the possibility of its use in installations for welding in an inert and active gas environment has been developed.*

*Studies in the field of creating rectifier control systems for arc welding can significantly improve their welding and technological parameters.*

**Keywords:** welding arc; power sources; regulation; rectifiers; feedback; volt-ampere characteristic.

Fig.: 5. References: 9.

**Алла Павленко<sup>1</sup>, Євдокименко Наталія<sup>2</sup>, Юрій Гаврилюк<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>аспірант кафедри інноваційної інженерії  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7580-3612>

<sup>2</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-1799-1600>

<sup>3</sup>здобувач наукового ступеня кафедри технологій палив, полімерних та поліграфічних матеріалів  
Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (Дніпро, Україна)

E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2373-8027>

## ВПЛИВ АЛЮМОСИЛКАТНИХ ПОРОЖНИСТИХ МІКРОСФЕР НА ВЛАСТИВОСТІ ШИННИХ ГУМ

*У роботі представлено результати дослідження характеристик шинних гум зі зменшеним вмістом вуглеводнів (за рахунок введення алюмосилкатних порожнистих мікросфер (АСПМ)). Вперше проведено системні дослідження впливу АСПМ на фізичні, фізико-механічні та теплофізичні властивості шинних гум. Вивчено структурні зміни шинних гум. Виявлено, що АСПМ у складі шинних гум виконують функцію структурного модифікатора.*

**Ключові слова:** шинні гуми; алюмосилкатні порожнисті мікросфери; теплопровідність; морозостійкість; зелені технології.

Рис.: 4. Табл.: 4. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Шина – достатньо складний, багатофункціональний та відповідальний елемент сучасної техніки. Шинні гуми – унікальний матеріал конструкційного призначення, ключовою особливістю якого є відмінна здатність гасити ударні навантаження [1].

Сучасна парадигма сталого розвитку передбачає першочергове вирішення проблем екології та соціальних питань за рахунок зменшення використання вуглеводнів, як умова збереження цивілізації. Традиційно є актуальними питання розробки нових матеріалів конструкційного призначення, які відіграють вирішальну роль у розвитку цивілізації, оскільки створення кожного нового матеріалу конструкційного призначення, призводило до зміни суспільно-економічних формацій (кам'яний вік, мідний вік, бронзовий вік, епоха чорних металів та полімерні матеріали) [2].

Полімерні матеріали є важливим складовим елементом реалізації науково-технічної революції. Завдяки розвитку технологій полімерних матеріалів відбулося створення різних транспортних засобів (наземних, повітряних та космічних) та технологічних машин з унікальним поєднанням міцності і щільності, що забезпечує зменшення їх маси [3].

В науковій літературі [3, 4] наведено результати багатьох досліджень, щодо розробки зелених технологій (заміна сировини з невідновних джерел на сировину з джерел, що відновлюються). Сьогодні відомо, що джерела вуглеводнів здатні відновлюватись, але актуальність проблеми заміни вуглеводнів зростає багаторазово, внаслідок того, що вуглеводні стали засобом політичного впливу та «несуть» загрозу існуванню земної цивілізації. Для вирішення проблеми заміни вуглеводнів в роботі вивчено вплив алюмосилкатних порожнистих мікросфер (АСПМ), на структуру та властивості шинних гум.

**Постановка проблеми.** Розвиток сучасного виробництва вимагає створення нових матеріалів, які мають необхідні властивості, залежно від умов експлуатації. Окрім того, поєднання таких властивостей із вирішенням екологічних проблем – утилізацією відходів інших виробництв, створює подвійний ефект. Одним з прикладів застосування таких матеріалів є компонент золо-шлакових відходів – алюмосилкатні порожнисті мікросфери (АСПМ), які утворюються при згоранні твердого палива на теплових електростанціях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час склався досить стійкий асоцимент наповнювачів для гум, однак пошуку нових типів наповнювачів присвячено наступні праці [3-5]. У роботі [3] розглянуто вплив неорганічних наповнювачів на властивості шинних гум. Авторами було розроблено нові шинні гуми з додаванням наповнювачів різних марок, які покращують технологічні та деформаційно-міцнісні властивості гумових сумішей та гум. Ефективність нового еластомерного матеріалу з мінеральним наповнювачем марки Миволл (виробництво ЗАТ «Геоком») була досліджена й доведена в роботі [4]. Аналіз проблем розвитку полімерних матеріалів конструкційного призначення в гумовій промисловості, пов'язаних з застосуванням вуглецькремнезійним двофазним наповнювачем марки TESPT та кремнекислотним наповнювачем марки Esoblack, і їх модифікацій наведено у статті [5].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Для вирішення проблеми заміни вуглеводнів у складі шинних гум, було вивчено вплив АСПМ на фізичні, фізико-механічні та теплофізичні властивості брекерних та протекторних гум.

Як відомо [6-8], АСПМ мають ряд особливостей: низьку щільність та теплопровідність; форма часток АСПМ – мікросфери. У складі шинних гум АСПМ не вивчали, внаслідок того, що АСПМ мають низьку теплопровідність, а це як раз є суттєвим недоліком шинних гум.

**Мета дослідження.** Для практичного застосування АСПМ у складі шинних гум, необхідно вивчити вплив АСПМ на властивості шин, що і є метою даної статті.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження є серійні шинні гумові суміші (табл. 1). Шинна гумова суміш – складна багатокомпонентна система, яка містить інгредієнти різної функціональної дії: каучукова основа, (ненасичені полідієнові каучуки), сірчана вулканізуюча група, (що утворює просторову сітку).

Відомо [8], що скляні мікросфери мають унікальне поєднання міцності та щільності, являють собою порожнисті мікросфери (утворюються при згоранні вугілля).

Скляні мікросфери – багатофункціональні наповнювачі високої якості, які суттєво відрізняються від інших наповнювачів:

- насипна щільність скляних мікросфер у рази нижча від насипної щільності мінеральних наповнювачів, однак, при цьому, скляні мікросфери характеризуються високим рівнем механічної міцності;

- на відміну від традиційних наповнювачів, завдяки сферичній формі часток мікросфери забезпечують високий рівень технологічних властивостей еластомерних композицій: зростає пластичність, зменшується усадка та в'язкість.

Алюмосилікатні порожнисті мікросфери – склокристалічні алюмосилікатні кульки, які утворюються при високотемпературному факельному спалюванні вугілля. Вони являють собою порожнисті, майже ідеальної форми силікатні кульки з гладкою поверхнею, з середнім діаметром близько 100 мкм. Стінки суцільні непористі з товщиною від 2 до 10 мкм, температура плавлення 1400-1500° С, щільність 580-690 кг/м<sup>3</sup>.

Вивчали концентраційну залежність технологічних властивостей гумових сумішей та фізичних, фізико-механічних і теплофізичних властивостей гум. Вміст АСПМ варіювали в межах від 1.0 до 8.0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучукової основи.

Вивчали АСПМ (рис. 1) з такими характеристиками:

– колір	світло-сірий
– форма частинок	сферична
– рН	6.0-7.0
– насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	223
– істинна щільність, кг/м <sup>3</sup>	279
– температура плавлення, °С	1400-1500
– коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·К)	0.317

Гумові суміші виготовляли на лабораторних вальцях за загальноприйнятою методикою [9]. Властивості визначали відповідно до діючих стандартів та за загальноприйнятими методиками.

Таблиця 1

*Склад (мас. ч.на 100 мас. ч. каучука) шинних гумових сумішей різного призначення*

Інгредієнт	Призначення		Функціональна дія інгредієнта
	Брекерна	Протекторна	
Каучукова основа			
Поліізопрен (СКИ-3)	100.0	75.0	Каучук
Полібутадиєн (СКД)	-	25.0	Те ж
Вулканізуюча група			
Сірка молота	-	2.2	Вулканізуючий агент
Сірка полімерна	4.5	-	Те ж
Сульфенамід М	0.8	1.5	Прискорювач сірчаної вулканізації
Білила цинкові	5.0	5.0	Активатор сірчаної вулканізації
Кислота стеаринова	2.0	2.0	Те ж
Фталевий ангідрид	-	1.0	Антискорчинг сірчаної вулканізації
Сантагард РVI	0.3	-	Те ж
Наповнювачі			
Технічний вуглець N-330	60.0	-	Наповнювач
Технічний вуглець N-220	-	55.0	Те ж
Пом'якшувачі			
Мастило ПН-6	7.0	12.0	Пом'якшувач
Бітуми нафтові АСМГ	5.0	-	Те ж
Вуглеводневі смоли	-	2.0	Те ж
Захисна група			
Захисний віск ЗВ	-	2.0	Протистарювач фізичної дії
Діафен ФП	1.2	1.0	Протистарювач хімічної дії
Ацетоніл Р	0.5	2.0	Те ж
Модифікатор адгезії			
Модифікатор РУ	2.0	-	Структурний модифікатор
Технологічні добавки			
Каніфоль	3.5	1.0	Забезпечує клейкість
Поліетилен високої щільності	1.0	-	Підвищує когезійної міцності гумової суміші на основі СКИ-3

Кінетику процесу вулканізації гумових сумішей вивчали при температурі 155 °С методом віброреометрії (ГОСТ 12535-84).

Показник термопластичності гумової суміші визначали, як відношення величини в'язкості при 25°С до величини в'язкості при 155°С (рис. 2).

Технологічні властивості гумової суміші: м'якість, відновлювальність, пластичність (за Каррером), еластичне відновлення, відносно еластичне відновлення визначали за ГОСТ 415-75 на пластометрі ПСМ-2 инд. 650.403 (ВН 5403) (типу Вільямса); усадку за товщиною та усадку за розмірами еліпса визначали за ГОСТ 12535-84 методом визначення вулканізаційних характеристик на вулкаметрі.

Деформаційно-міцнісні властивості шинних гум досліджували відповідно до ГОСТ 270-75 методом визначення упругоміцних властивостей при розтягу на розривній машині типу 2167 Р-50.

Еластичність шинної гуми здійснювали на приладі типу Шоба виду МТ 171 згідно до ГОСТ 27110-86 методом визначення еластичності по відскоку.

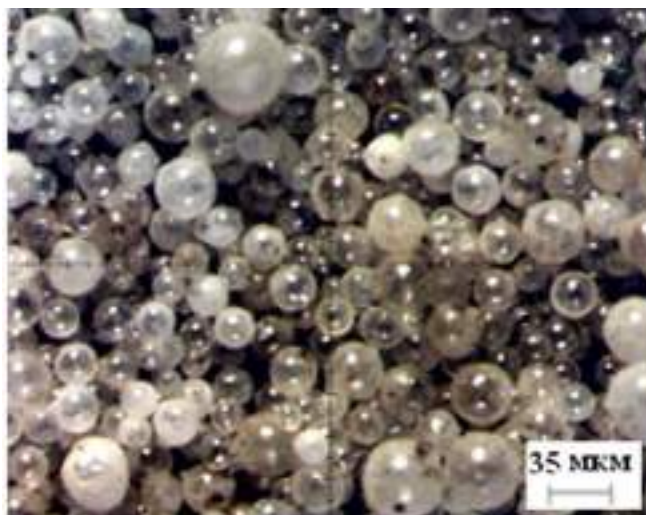


Рис. 1. Мікрофотографія ( $\times 230$ ) алюмосилікатних порожнистих мікросфер

Вимірювання твердості шинних гум здійснювали твердоміром типу ТР 25-І за ГОСТ 263-75 методом визначення твердості за Шором А.

Опір до роздирання шинних гум визначали за ГОСТ 262-79 на розривній машині типу 2167 Р-50.

Визначення опору до стирання шинних гум здійснювали методом визначення опору до стирання при ковзанні за ГОСТ 426-77 на приборі типу МІ-2.

Коефіцієнт тертя шинних гум визначали методом абразивного зношування за ГОСТ 426-77 на машині типу МС-2.

Щільність шинних гум визначали за ГОСТ 267-73 гідростатичним методом.

Визначення коефіцієнту теплопровідності шинних гум здійснювали за ГОСТ 34374.2-2017 методом з використанням плоского джерела тепла (нагрітого диску) у змінному режимі на приборі марки ІТ- $\lambda$ -400.

Морозостійкість оцінювали за температурою крихкості гуми при ударі за ГОСТ Р ІСО 18766-2017.

Вивчали вплив АСПМ на властивості, як шинних гумових сумішей, так і шинних гум.

Мікроструктуру шинних гум з АСПМ вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа типу РЭМ-106І при збільшенні 50.

В результаті аналізу концентраційної залежності технологічних властивостей гумових сумішей (рис. 2, табл. 2, 3), виявлено, що за усіма показниками технологічних властивостей протекторної гумової суміші суттєво зростає пластичність, зменшується мінімальна в'язкість, зростає індукційний період, зменшується оптимальний термін процесу вулканізації.

Введення АСПМ суттєво впливає на термопластичність гумової суміші (табл. 2), зокрема спостерігаємо збільшення показника на 20-70 %.

Оптимальний термін вулканізації визначають, як період часу від початку запису реограми до моменту досягнення 90 % ступеню вулканізації. У ГОСТі визначається формальність такого підходу і рекомендується для визначення оптимального терміну вулканізації, як терміну досягнення максимального рівня властивостей проводити додаткові дослідження кінетики зміни, деформаційно-міцнісні властивості.

Відомо, що АСПМ знайшли широке застосування у якості наповнювача для термозахисних матеріалів, тому що мають у 3-4 рази нижчу насипну щільність (у порівнянні з іншими наповнювачами), однак, високі показники теплоізоляційних властивостей є недоліком для шинних гум.



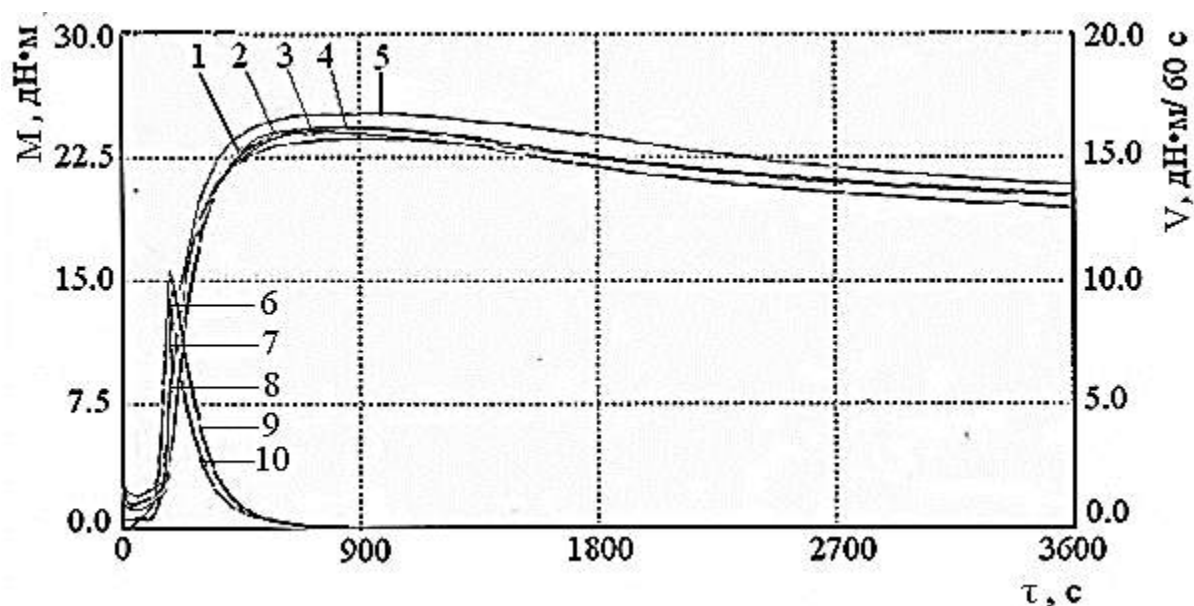


Рис. 2. Кінетичні криві вулканізації ( $M$  – в'язкість, 1-5) ( $V$  – швидкість, 6-10) протекторної гумової суміші з різним вмістом АСПМ (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука):  
1, 6 – контроль; 2, 7 – 1.0; 3, 8 – 2.0; 4, 9 – 4.0.; 5, 10 – 8.0

Таблиця 2

Показники технологічних властивостей протекторної гумової суміші з різним вмістом (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) алюмосилікатних порожнистих мікросфер (АСПМ)

Показник	Контроль	Вміст АСПМ			
		1.0	2.0	4.0	8.0
М'якість	0.65	0.69	0.68	0.68	0.68
Відновлюваність	0.94	0.95	0.97	0.99	1.00
Пластичність (за Каррером)	0.61	0.65	0.66	0.67	0.68
Еластичне відновлення	0.52	0.47	0.29	0.09	0.04
Відносне еластичне відновлення	0.06	0.05	0.03	0.01	0.01
Усадка за товщиною, %	13.4	15.1	14.9	11.8	9.6
Усадка за розмірами еліпса, %	10.0	6.0	5.3	4.7	4.7
Термопластичність при 155 °С	1.93	3.27	2.35	2.45	2.69
Щільність, $\text{кг}/\text{м}^3$	1085	1080	1075	1060	1080

Вивчали вплив АСПМ на технологічні, фізико-механічні та теплофізичні властивості гуми при невеликих концентраціях (1.0 – 8.0 мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) (табл. 4).

Як видно з наведених даних, властивості матеріалів на основі сумішей полімерів суттєво перевищують властивості індивідуальних полімерів, залежить від параметрів геометричної фазової морфології – синергія властивостей реалізується в умовах геометричного фазового переходу (для подвійних систем полімерів оптимальним є співвідношення компонентів у діапазоні від 3/7 до 7/3. Унікальний комплекс властивостей притаманний еластомерним композиціям з мінімальними розмірами часток гетерофази.

Дослідження останніх років [10, 11] показали вирішальну роль параметрів фазової морфології у забезпеченні високого рівня властивостей матеріалів конструкційного призначення, перш за все, полімерів.

Таблиця 3

*Дані експериментальних досліджень методом віброреометрії протекторної гумової суміші з різним вмістом (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) алюмосилікатних порожнистих мікросфер (АСПМ)*

Показник	Контроль	Вміст АСПМ			
		1.0	2.0	4.0	8.0
В'язкість, дН·м:					
- мінімальна;	1.81	1.07	1.49	1.43	1.30
- максимальна;	23.64	24.03	24.37	24.30	25.16
- при оптимальному терміні процесу вулканізації	21.45	21.74	22.08	22.01	22.77
Зміна в'язкості в процесі (ступінь зшивання) вулканізації, дН·м	21.83	22.96	22.88	22.87	23.86
Термін зростання мінімальної в'язкості (дН·м), 60 с.:					
- на одну одиницю	2.14	2.58	2.48	2.52	2.26
- на дві одиниці	2.52	2.88	2.85	2.89	2.59
Термін (60 с.) протікання процесу вулканізації при заданому ступені вулканізації, %:					
- 10;	2.55	2.93	2.91	2.95	2.65
- 30;	3.09	3.45	3.46	3.52	3.17
- 50;	3.65	4.02	4.02	4.11	3.70
- 70;	4.49	4.86	4.83	4.97	4.50
- 90;	6.53	6.72	6.62	6.88	6.38
- 100.	14.88	13.36	13.57	14.27	14.41
Термін досягнення максимальної швидкості процесу вулканізації, 60 с.	2.97	3.27	3.35	3.39	3.04
Максимальна швидкість процесу вулканізації, дН·м/60 с.	9.36	9.68	9.65	9.17	10.43
Оптимальний термін процесу вулканізації, 60 с.	4.39	4.14	4.14	4.36	4.13
Термін початку процесу реверсії (98%), 60 с.	23.25	19.55	20.15	20.88	22.43
Швидкість процесу вулканізації (дН·м/60 с.) при протіканні процесу 3600 с.	-0.14	-0.04	-0.06	-0.14	-0.10
Кут механічних втрат (радіани):					
- за умови зростання мінімальної в'язкості на одну одиницю;	0.66	0.76	0.72	0.74	0.78
- при оптимальному терміні процесу вулканізації;	0.05	0.05	0.07	0.06	0.06
- при терміні протікання процесу вулканізації на 100 %.	0.04	0.04	0.05	0.05	0.05
Індекс зміни в'язкості	4.58	4.35	4.36	4.37	4.19
Індекс зміни швидкості процесу вулканізації	0.41	0.43	0.44	0.41	0.43
Швидкість реверсії, %	41.72	36.07	44.42	40.70	41.12

Таблиця 4

*Показники деформаційно-міцнісних, фізико-механічних, теплофізичних властивостей та розмір часток гетерофази протекторної гумової суміші з різним вмістом (мас. ч. на 100 мас. ч. каучука) алюмосилікатних порожнистих мікросфер (АСПМ)*

Показник	Контроль	Вміст АСПМ			
		1.0	2.0	4.0	8.0
1	2	3	4	5	6
<b>Деформаційно-міцнісні властивості</b>					
Умовне напруження (МПа) при заданому подовженні, %:					
- 50	1.5	1.9	1.6	1.1	1.8
- 100	3.1	3.2	2.8	1.9	3.0
- 150	4.7	4.6	4.4	3.0	4.4

Закінчення табл. 4

1	2	3	4	5	6
- 200	6.2	6.2	5.9	3.2	6.2
- 250	8.2	8.6	7.9	5.7	8.2
- 300	10.6	10.7	10.2	7.3	10.9
Умовна міцність при розтягу, МПа	18.4	18.4	17.1	10.7	14.1
Відносне подовження, %	490	510	460	430	410
Залишкове видовження, %	20	20	20	20	20
Фізико-механічні властивості					
Еластичність (на приладі типу Шоба), ум. од.	28	26	26	26	27
Твердість (за Шором), ум. од.	60	61	60	61	63
Опір до роздирання, кН/м	64.7	61.1	67.6	61.0	34.8
Опір до стираності, м <sup>3</sup> /ТДж	41.60	59.20	41.98	46.52	65.41
Коефіцієнт тертя	0.99	1.02	0.98	0.96	1.00
Теплофізичні властивості					
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м×К)	0.518	0.522	0.587	0.591	0.607
Морозостійкість, °С					
Параметри морфології					
Діаметр часток гетерофази, ум. од.	18.0	15.0	15.0	15.0	16.0

Виходячи з того, що, на відміну від інших матеріалів конструкційного призначення, розвиток технології еластомерів обумовлений не тільки підвищенням міцності (традиційний підхід для всіх матеріалів конструкційного призначення), але і необхідністю збереження основної властивості еластомерів – здатності дисипувати механічну енергію. З урахуванням принципових відмінностей фізичної природи таких властивостей як міцність і еластичність, геометричну фазову морфологію необхідно визначати як матричну структуру: дисперсійне еластичне середовище в якому розповсюджена дисперсна фаза – елемент системи, що забезпечує високий рівень міжмолекулярної взаємодії.

Параметри морфологічної будови еластомерних композицій та характер структурних перетворень вивчали як геометричні фазові переходи із застосуванням метода перколяційного аналізу (рис. 3).

Заповнені квадрати модулюють властивості гетерофази, а не заповнені – властивості дисперсійного середовища. Ймовірність геометричних фазових переходів і термодинамічних фазових переходів якісно подібні, однак аналіз геометричних фазових переходів в порівнянні з термодинамічним, простіший – базується на деяких поняттях геометрії та теорії ймовірності.

Встановлено, що ймовірність геометричних фазових переходів  $P$ , при заданому вмісті гетерофази  $P_c$ , різко зменшується у випадку зменшення розміру часток гетерофази ( $d$ ):

$$P = P_c L = P^{1/d}, \quad (1)$$

де  $P$  – ймовірність геометричного фазового переходу;

$P_c$  – об'ємна частка гетерофази;

$L$  – розмірність перколяційної решітки;

$d$  – діаметр часток гетерофази, ум. од.

Тобто, при зменшенні розміру часток гетерофази зменшується ймовірність фазового геометричного переходу, отже зростає ймовірність збереження властивості матриці – еластичності у випадку гуми. Одержані результати, що базуються на аналізі в задачах перколяції, добре узгоджені з експериментальними мікрофотографіями.

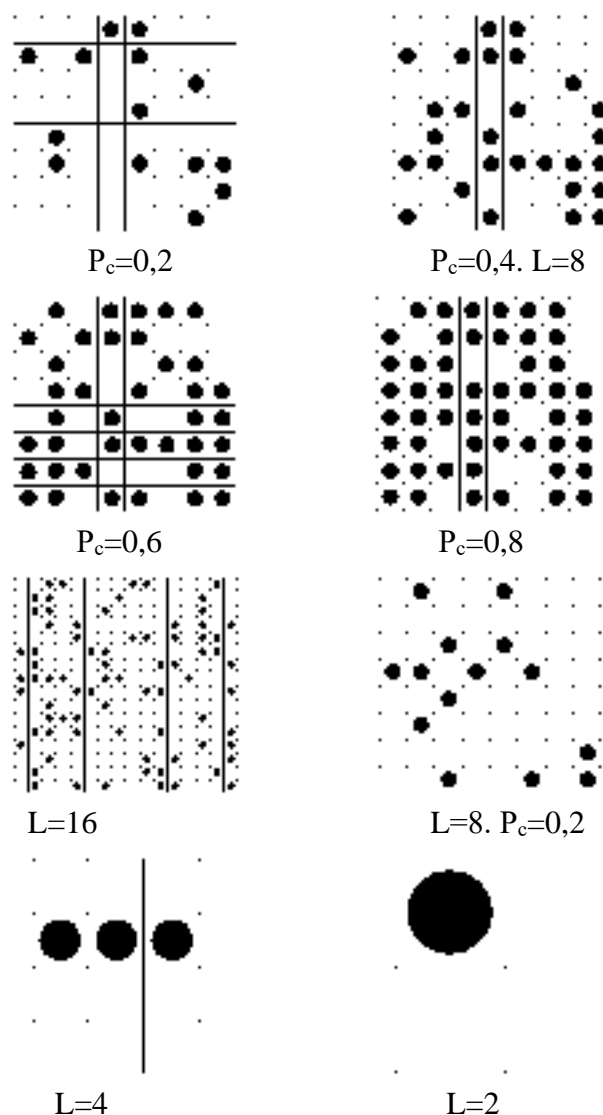


Рис. 3. Приклади перколяційних конфігурацій на квадратній решітці за різних значень  $P$  та  $L$  ( $P$  – частка зайнятих елементів на решітці;  $L$  – розмірність решітки)

Методом електронної мікроскопії вивчено шинні гуми з АСПМ (більше 5 мас. ч. в гумову суміш). Таким чином, аналіз мікрофотографій (рис. 4) свідчить про те, що при зростанні вмісту АСПМ в композиційному матеріалі, утворюється з'єднувальний кластер (рис. 3,  $P_c=0.4$ ,  $L=8$ ) і як наслідок відбувається руйнування часток АСПМ (рис. 4, в, г). Спостерігаємо зростання щільності.

При оптимальному вмісті АСПМ (рис. 4, б) спостерігаємо на поверхні часток АСПМ мікроутворення з речовини в газоподібному стані, тобто збільшується кількість елементів, що мають властивості кінетичної природи – спостерігаємо зростання коефіцієнта теплопровідності, морозостійкість, пластичність та інші технологічні властивості. Таким чином, в результаті проведених досліджень виявлено, що АСПМ у складі шинних гум проявляють властивості структурних модифікаторів – спостерігаємо зменшення розміру часток гетерофази (рис. 3,  $P_c=0.2$ ,  $L=8-2$ , табл. 4).

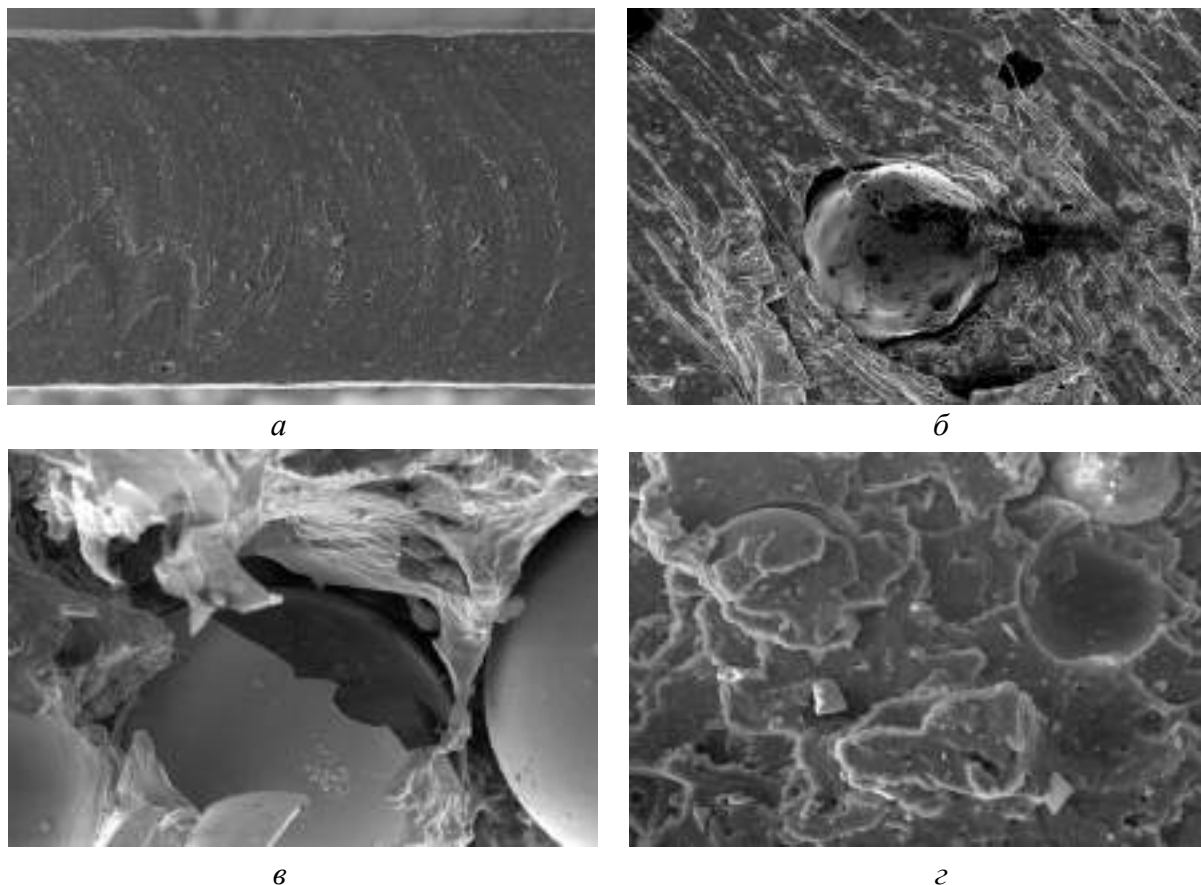


Рис. 4. Мікрофотографії (а, б, в –  $\times 50$ ; г –  $\times 300$ ) шинних гум з алюмосилікатними порожнистими мікросферами, мас. ч. на 100 мас. ч. каучука:  
а – контроль; б – 4.0; в, г – 8.0

**Висновки відповідно до статті.** Вперше проведено системні дослідження впливу АСПМ на фізичні, фізико-механічні та теплофізичні властивості шинних гум. Вивчено структурні зміни шинних гум. Показано, що оптимальним є вміст 3-5 мас. ч. АСПМ на 100 мас. ч. каучука (зростають технологічні властивості гумової суміші, зменшується щільність та зростає коефіцієнт теплопровідності шинних гум). Виявлено, що АСПМ у складі шинних гум виконують функцію структурного модифікатора.

#### Список використаних джерел

1. Большой справочник резинщика. Часть 2. Резины и резинотехнические изделия / под ред. С. В. Резниченко, Ю. Л. Морозова. – М. : ООО «Издательский центр «Техинформ» МАИ, 2012. – 641 с.
2. Національна парадигма сталого розвитку України / за заг. ред. акад. НАН України, д.т.н., проф., заслуженого діяча науки і техніки України Б. Є. Патона. – Вид. 2-ге, переробл. і доповн. – К. : Державна установа «Інститут економіки природокористування та сталого розвитку Національної академії наук України», 2016. – 72 с.
3. Пичугин А. М. Материаловедческие аспекты создания шинных резин / А. М. Пичугин // Каучук и резина. – 2008. – № 5. – С. 2-11.
4. Курлянд С. К. Новый минеральный наполнитель для резин общего и специального назначения / С. К. Курлянд, Е. А. Быков, И. А. Карлина // Каучук и резина. – 2007. – № 1. – С. 22-25
5. Каблов В. Ф. Современные тенденции применения каучуков и наполнителей в рецептуре резин / В. Ф. Каблов, В. И. Аксёнов // Промышленное производство и использование эластомеров. – 2018. – № 3. – С. 24-34.
6. Самороков В. Э. Использование микросфер в композиционных материалах / В. Э. Самороков, Е. В. Зелинская // Химия и металлургия. – 2012. – Т. 68, № 9. – С. 201-205.

7. Дрожжин В. С. Процессы образования и основные свойства полых алюмосиликатных микросфер в золах-уноса тепловых электростанций / В. С. Дрожжин, М. Я. Шпирт, Л. Д. Данилин // Химия твёрдого топлива. – 2008. – № 2. – С. 53-66.

8. Данилин Л. Д. Полые микросферы из зол-уноса – многофункциональный наполнитель композиционных материалов / Л. Д. Данилин, В. С. Дрожжин, М. Д. Куваев // Цемент и его применение. – 2012. – № 4. – С. 100-105.

9. Оцінка можливості використання вторинної мінеральної сировини виробництва соняшникової олії у складах еластомерних композицій / В. І. Овчаров, Л. Р. Юсупова, Б. В. Мурашевич, М. В. Торопін // Вопросы химии и химической технологии. – 2019. – № 2. – С. 99-105.

10. Большаков В. И. Применение фрактального моделирования при оценке структуры и свойств металлов / В. И. Большаков, В. Н. Волчук, Ю. И. Дубров // Металлознание та термічна обробка металів. – 2018. – № 2. – С. 50-55.

11. Дырда В. И. Механика разрушения композитных материалов в контексте фрактального анализа / В. И. Дырда, М. А. Щелокова // Геотехническая механика : межвед. сб. научн. трудов. – 2008. – Вып. 79. – С. 35-47.

### References

1. Reznichenko, S.V., Morozova, Yu.L. (2012). *Bolshoi spravochnyk rezynshchyka. Chast 2. Reiny i rezinotekhnicheskie izdeliia [Large handbook of rubber. Part 2. Rubber and rubber products]*. ООО «Yzdatelskyi tsentr «Tekhynform» МАУ.

2. Patona, B. Ye. (2016). *Natsionalna paradyhma staloho rozvytku Ukrainy [National paradigm of sustainable development of Ukraine]*. 2<sup>nd</sup> ed. Derzhavna ustanova «Instytut ekonomiky pryrodokorystuvannya ta staloho rozvytku Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy».

3. Pychuhyn, A.M. (2008). *Materyalovedcheskye aspekty sozdaniya shynnykh rezyn [Material science aspects of creating tire rubbers]*. *Kauchuk i rezina – Rubber and rubber*, (5), 2-11.

4. Kurliand, S.K., Bykov, E.A., Karlyna, I.A. (2007). *Novyi myneralni napolnytel dlia rezyn obshcheno y spetsyalnoho naznacheniya [New mineral filler for general and special purpose rubbers]*. *Kauchuk i rezina – Rubber and rubber*, (1), 22-25.

5. Kablov, V.F., Aksenov, V.I. (2018). *Sovremennye tendentsii primeniia kauchukov i napolnytelei v retsepture rezin [Modern trends in the use of rubbers and fillers in rubber compounding]*. *Promyshlennoe proizvodstvo i ispolzovanie elastomerov – Industrial production and the use of elastomers*, (3), 24-34.

6. Samorokov, V.E., Zelynskaia, E.V. (2012). *Ispolzovanie mikrosfer v kompozitsionnykh materialakh [Use of microspheres in composite materials]*. *Khimiia i metallurgiiia – Chemistry and metallurgy*, 68(9(12)), 201-205.

7. Drozhzhyn, V.S., Shpyrt, M.Y., Danylyn, L.D. (2008). *Protsessy obrazovaniya y osnovnye svoistva polykh aliumosylykatnykh mykrosfer v zolakh-unosa teplovykh elektrostroyantsyi [Formation processes and basic properties of hollow aluminosilicate microspheres in fly ash of thermal power plants]*. *Khymiia tverdoho tela – Chemistry of solid fuel*, (2(08)), 53-66.

8. Danylyn, L.D., Drozhzhyn, V.S., Kuvaev, M.D. (2012). *Polye mykrosfery yz zol-unosa – mnogofunktsionalnyi napolnytel kompozytsionnykh materialov [Hollow fly ash microspheres – multifunctional filler for composite materials]*. *Tsement i ego primeneniie – Cement and its application*, (4(12)), 100-105.

9. Ovcharov, V.I., Yusupova, L.R., Murashevych, B.V., Toropin, M.V. (2019). *Otsinka mozhlyvosti vykorystannya vtorynnoi mineralnoi syrovyny vyrobnytstva soniashnykovoi olii u skladakh elastomernykh kompozytsii [Evaluation of the possibility of using secondary mineral raw materials for sunflower oil production in compositions of elastomeric compositions]*. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii – Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, (2), 99-105.

10. Bolshakov, V.I., Volchuk, V.N., Dubrov, Y.I. (2018). *Primeneniie fraktalnogo modelirovaniia pri otsenke struktury i svoistv metallov [Application of fractal modeling in assessing the structure and properties of metals]*. *Metalloznavestvo ta termichna obrobka metaliv – Metal science and thermal processing of metals*, (2(18)), 50-55.

11.Dyrda, V.I., Shchelokova, M.A. (2008). Mekhanyka razrusheniya kompozytnykh materialov v kontekste fraktalnoho analiza [Fracture mechanics of composite materials in the context of fractal analysis]. *Heotekhnicheskaia mekhanyka. Mezhd. sb. nauchn. trudov. – Geotechnical mechanics: inter-departmental. Sat. scientific. works*, 79 (pp. 35-47).

Отримано 11.07.2021

UDC 678.074:54.6

**Alla Pavlenko<sup>1</sup>, Natalia Evdokimenko<sup>2</sup>, Yuri Gavriluk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD Student of the Department of Innovation Engineering  
State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology» (Dnipro, Ukraine)  
E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7580-3612>

<sup>2</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technological Sand,  
Polymer and Polygraphyc Materials  
State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology» (Dnipro, Ukraine)  
E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-1600>

<sup>3</sup>Degree Seeker of the Department of Technological Sand, Polymer and Polygraphyc Materials  
State Higher Educational Institution «Ukrainian State University of Chemical Technology» (Dnipro, Ukraine)  
E-mail: [aavsaa@ukr.net](mailto:aavsaa@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2373-8027>

## INFLUENCE OF ALUMINOSILICATE HOLLOW MICROSPHERES ON PROPERTIES OF TIRE TIRES

*Tire is the most complicated device element of modern technology while tire rubber is a unique material for construction purposes. The modern paradigm of sustainable development provides a solution to the problem of ecology and social issues by reducing the use of hydrocarbons as a condition for the preservation of civilization and the traditionally relevant to ensure effective management of the development of new structural materials. The creation of each new material for structural purposes led to changes in socio-economic formations.*

*The aim of the study is to determine the characteristics of tire rubber with reduced hydrocarbon content (due to the introduction of aluminosilicate hollow microspheres (ASHM)).*

*The literature presents the results of many studies on the development of green technologies. The peculiarity of ASHM is that it is a secondary raw material.*

*The paper presents the results of experimental research on the impact of ASHM on the physical, physico-mechanical and thermophysical parameters of rubber compositions and rubbers, analyzes relationship between the level of properties with the microstructure of rubber and the parameters of the geometric phase morphology.*

*For the first time, a systematic study of the influence of ASHM on the physical, physico-mechanical and thermophysical properties of tire rubber was conducted. Structural changes of tire rubber are studied. It is shown that the introduction of ASHM solves the environmental problem (reduces fuel consumption by reducing rubber density and reducing energy consumption due to increasing the level of technological properties), social problem (replacement of hydrocarbons in the rubber mixture). It was found that ASHM in the composition of tire rubber perform the function of a structural modifier.*

**Keywords:** tire rubber; aluminosilicate hollow microspheres; thermal conductivity; frost resistance; green technologies.  
Fig.: 4. Tab.: 4. References: 11.

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-96-104

UDC 004

**Darina Hroncová**PhD in Technical Science, Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical Engineering  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)E-mail: [darina.hroncova@tuke.sk](mailto:darina.hroncova@tuke.sk). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5988-8353>**MODELING IN MSC ADAMS/VIEW  
AS MODERN APPROACH TO MECHANISM DESIGN**

*The paper deals with the kinematic analysis of a pressure mechanism. It is a four-member mechanism. The mechanism transforms rotational motion into translational motion. It has one degree of freedom of movement. The position and speed of the piston, the magnitude of the force in the spring and the angle of the arm of the drive member at different values of the load of the drive member are determined. The task is solved using the program MSC Adams / View. The result of the simulation is the calculated trajectory of the movement of the selected point of the mechanism. The trajectory is shown in graphical form*

**Keywords:** mechanism; simulation; kinematic and dynamic analysis; trajectory.

Fig.: 8. Table: 1. References: 12.

**Urgency of the research.** In today's world of technology, we encounter a wide application of spatial mechanisms and bound mechanical systems. Movement from simple to more complex is examined. We then examine the given movements on the basis of the characteristics that we need to find out. The kinematic and dynamic properties of the mechanism are determined. There are several methods to solve them. The oldest possible solutions are analytical and graphical solutions. At present, software solutions using available computer programs are being used.

This paper shows the use of one of the software products in the kinematic and dynamic analysis of a mechanical system. Software solutions are preferred, but knowledge of graphical and analytical methods is still needed. The graphical method of solving improves our imagination about the system during its movement. However, the graphical method gives information about the quantities only in the specific investigated position. It is therefore time consuming. A number of the computer products are currently available for kinematic analysis. One of them is the MSC Adams program. In it, a mechanical system with one degree of freedom is modeled and its kinematic analysis is performed as an example of its use. After building the model and starting the simulation, the program offers to process clearly searched kinematic quantities in its postprocessor. It allows their processing in graphical and numerical form. It also allows to get an animation of the movement of the mechanism, which gives you an insight into the behavior of the mechanism during the workload. This paper is devoted to this issue.

**Target setting.** Computer modeling is currently being developed in various areas of industrial production. It is significantly used in the automotive industry but also in other areas. It focuses on reducing the development time of new product models and making the development and production less expensive.

Computer modeling is commonly used in engineering tasks to obtain information about system behavior at low cost. It allows you to change the parameters of the models and monitor their impact on the final solution. The advantage of computer modeling is the speed and flexibility in solving problems in the process of product design, development and innovation.

Computer modeling can be divided according to the process of creating and processing a model for mathematical modeling, in which we work with a mathematical model of the solved mechanical system. Here we can include, for example, Matlab/Simulink, Mathematics and Maple. Or when using multibody modeling software, we only need to know the overall design of the model and its load during the movement. These programs, where we define the mechanical system directly through the direct definition of the geometry of its elements, constraints and loads, also include the MSC Adams program used, and here we speak of "multibody" modeling. Here we could also include the Toolbox SimMechanics of the Matlab/Simulink.



**Actual scientific researches and issues analysis.** In mathematical modeling, we describe the whole model and its behavior using mathematical equations. To define the properties of the solved model, mathematical equations are used, which define the motion and call their equations of motion of the system, as well as equations describing the kinematic dependencies between the individual members of the mechanical system. The compilation of equations of motion is time consuming and therefore this procedure is only suitable for systems with a lower number of degrees of freedom. Here we can use, for example, Matlab/Simulink, Maple and Mathematics.

Matlab is a program that allows numerical calculations, modeling and simulation.

Maple is a comprehensive calculation software that allows analytical calculations, numerical calculations, graphical display of results and the creation of a document describing the workflow.

Mathematica is a program focused on numerical and matrix problems in various areas of technical problems.

The difference in "multibody" modeling from mathematical modeling is that this "multibody" modeling does not describe the model by mathematical equations. Only the shape of the geometry of the individual bodies from which the model is built is defined. There is no time to compile the equations of motion, which leads to time savings. However, computer programs in this area of modeling are more demanding on hardware and knowledge of the use of software. Theoretical knowledge and skill of the designer is required.

SimMechanics as an extension of Matlab was developed to address the kinematics and dynamics of a rigid body.

Simulink as a Matlab graphical environment was developed to create and solve dynamic systems using block diagrams.

MSC Adams uses an object-oriented programming environment with graphical output. Systems are defined directly by the geometry of bodies, kinematic constraints, force effects and motion generators.

**Analysis of existing research and publications.** Much attention has been paid to the spatial mechanisms in the literature since the last century. The first works include the work of Burmeister, Reuleaux and Assur. The work of Artobolevsky and Franke, Šrejtra on newer authors. The methods of describing mechanisms are the work of Denavit and Hartenberg [1] and the work of Kalicin, Kislicyna, Lebedeva, Litvin [2]. The matrix methods in kinematics has been studied by Hartenberg, Denavit and Uicker. The vector methods of kinematics analysis was devoted to Zinoviev, Novotný, Chace [2].

Methods of mechanisms description are described in works of Denavit and Hartenberg [1] and others. General methods of dynamic analysis of planar mechanisms are attributed to authors as Brát [2], Kozlov, Makaričev, Timofejev, Jurevič [3], Bejczy, Koplík, Leu, Haug [2], Stejskal [4], Valášek [4] and others.

Fourth order matrices were introduced by J. Denavit and R. S. Hartenberg. Similarly, G. S. Kalicin solved some problems of planar and spherical mechanisms by matrix calculus. The possibility of using quaternions or biquaternions in the kinematics of the body was pointed out by J. Novák. The general methods of analytical solution were dealt with by S. G. Kislicin and J. F. Moroshkin. In the kinematics of spatial mechanisms, the Czech mechanic V. Brát also introduced the use of matrix calculus [2], V. Stejskal and M. Valášek [4], K. Juliš, R. Brepta [5].

In our work, after the introductory theoretical part we show models of the mechanism compiled in MSC Adams-View.

**Article objective.** The presented paper shows the solution of the kinematic analysis of a mechanical system by the currently available computer program MSC Adams. The model of the pressing mechanism is solved, which represents a mechanical system with one degree of freedom. After building the model in the MSC Adams View program, the results of the kinematic analysis of the mechanism are obtained after starting the simulation.

The paper shows the mechanism shown in Fig.1. In terms of kinematics, the mechanism consists of four members, one of which is the basis. The mechanism has one degree of freedom. Performs a translational motion [4-5].

Pressure mechanism on the Fig. 1 consists of the crank 2, connecting rod 3, piston 4 and spring. The mechanism is used to convert angular motion of the crank into linear motion of the piston. A mechanism is used to produce mechanical transformations in a machine.

The solved mechanism transforms the rotational movement of member 2 into the translational movement of member 4. Our task is to investigate the movement of its individual members and significant points.

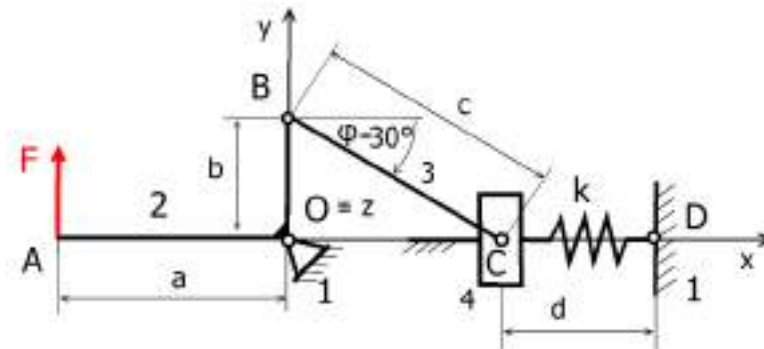


Fig. 1. Model of the Mechanism with one degree of freedom

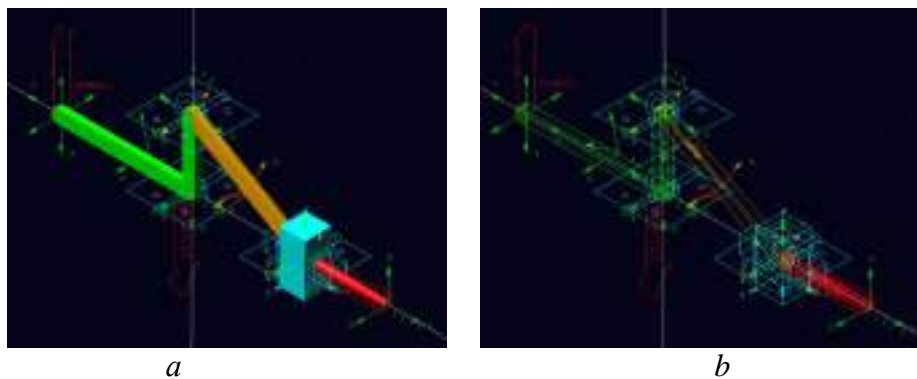


Fig. 2. a)-b) Model of the Mechanism in MSC Adams/View

The aim is to describe the movement of the piston 4. We solve the crank slider mechanism of the pressure mechanism.

The kinematic scheme from the point of view of the kinematic solution contains the dimensions of the members and the connecting kinematic pairs. Individual members are marked with numbers. The base is marked with the number 1, the crank drive member with the number 2, the connecting member with the number 3, the sliding member with the number 4. The spring has a stiffness  $k = 5\text{ N/mm}$ . Individual dimensions of the mechanism:

$OB = 100\text{mm}$ ,  $OA = 200\text{mm}$ ,  $BC = 200\text{mm}$ , the spring is mounted in the center of gravity of member 4 and on the base in place  $(0, -300.0)$ . Width of individual members  $\text{Width} = 20\text{mm}$ ,  $\text{Depth} = 10\text{mm}$ . The force  $F$  acts on the driven member 2. Next we solved the problem for variants P1 to P4 at different parameters of the loading force  $F$ .

#### General overview of the system.

We solve the problem for variants P1 to P4 with different parameters of the loading force in the following parts.

A local coordinate system is associated with each member. The motion of a point located on a member with a local coordinate system is then described with respect to the global coordinate system (Fig. 3). We are interested in the position of the selected point of the member of mechanism with respect to the global coordinate system in which the mechanism is located.

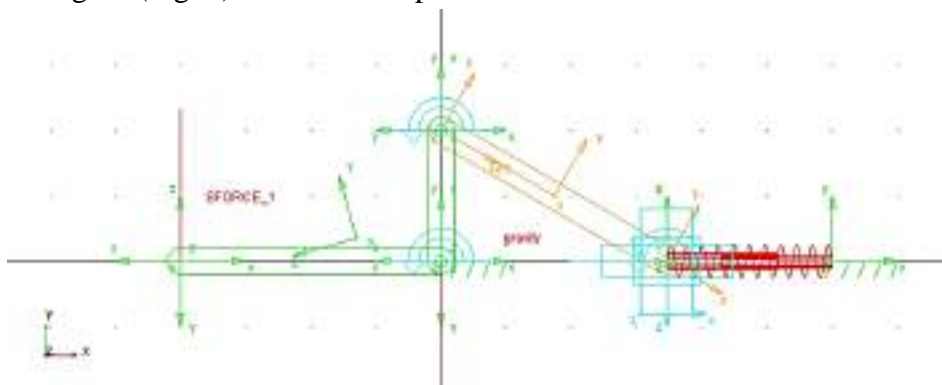
The following table (Table 1) shows the parameters of the model of the mechanism on (Fig. 1):  
Table

*Variant of the Mechanism with Force and Time of the Solution*

Variant	F [N]	Time [sec]
P1	140	0.0800
P2	160	0.0632
P3	180	0.0531
P4	200	0.0474

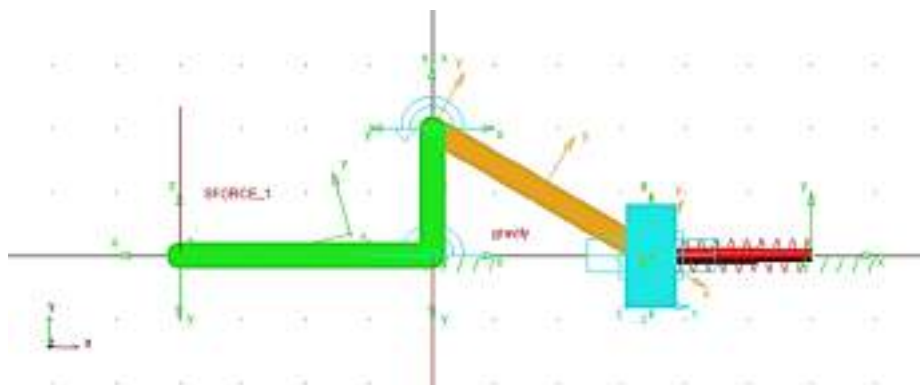
**Kinematic analysis of the model in MSC Adams software.**

The next figure (Fig. 3) shows a manipulator model created in the MSC Adams/View.



a

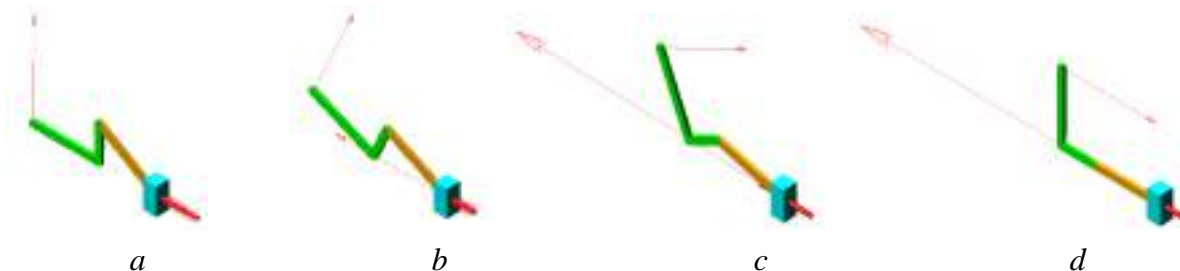
*Fig. 3. Model of the mechanism in MSC Adams/View*



b

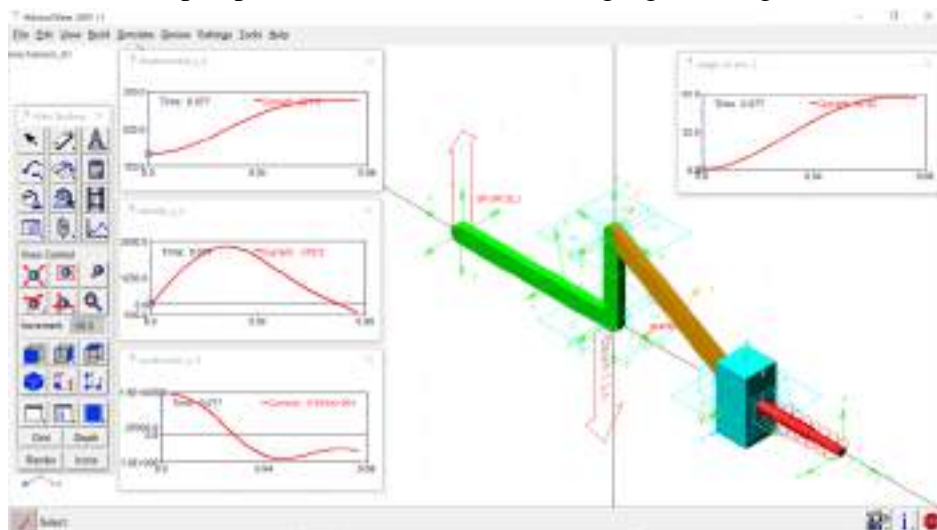
*Fig. 4. Front view of the rendered model of the mechanism in MSC Adams/View*

A 3D computer model of the manipulator is created in MSC Adams [12]. Modelling elements and procedures for the creation of bodies and their kinematic bonds were used. After proposing the model, the functionality is verified and the simulation is started (Fig. 5) [6-11].

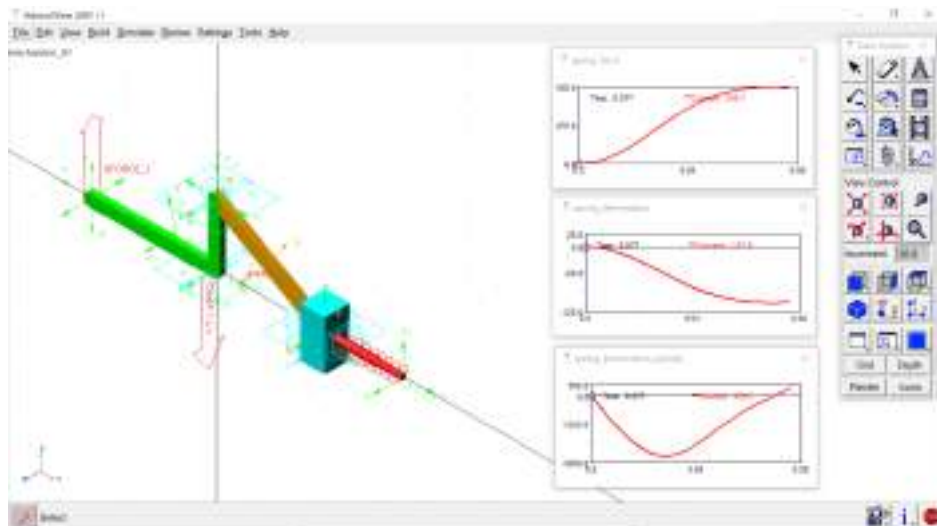


*Fig. 5. a) – d) Mechanism in the motion with force F=200N*

The resulting graphs of trajectory of point obtained by the simulation are displayed in a graphical form with the postprocessor are in the following figures (Fig. 6 a-b).



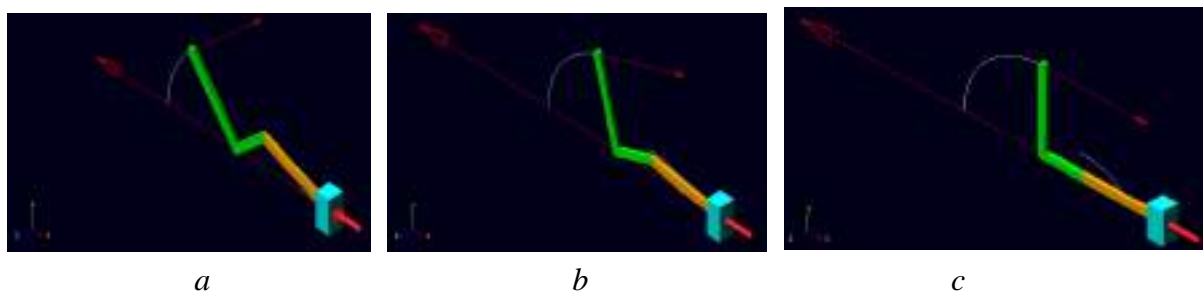
a



b

Fig. 6. a) – b) Measure of the kinematics quantities

The representation of the trajectory of the points in various views (Fig. 7 a-c) is shown below.



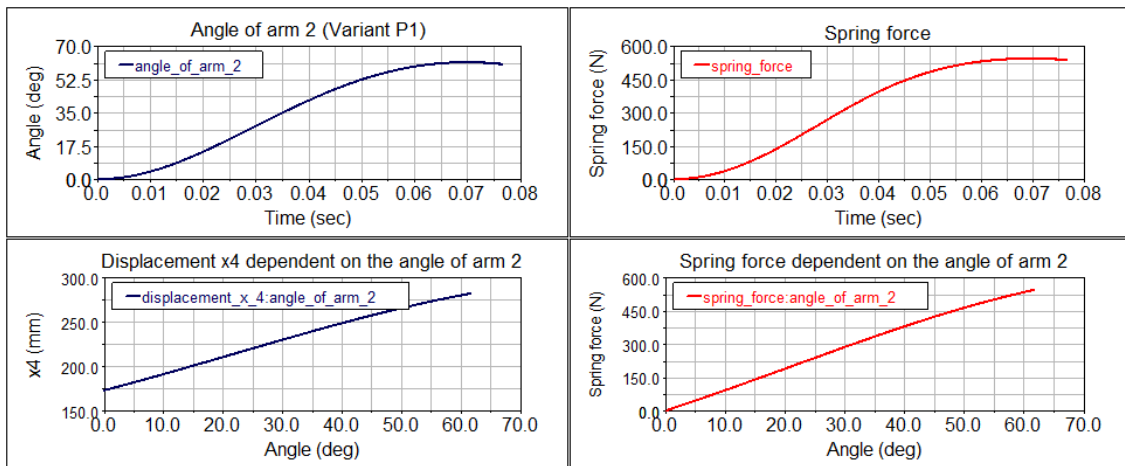
a

b

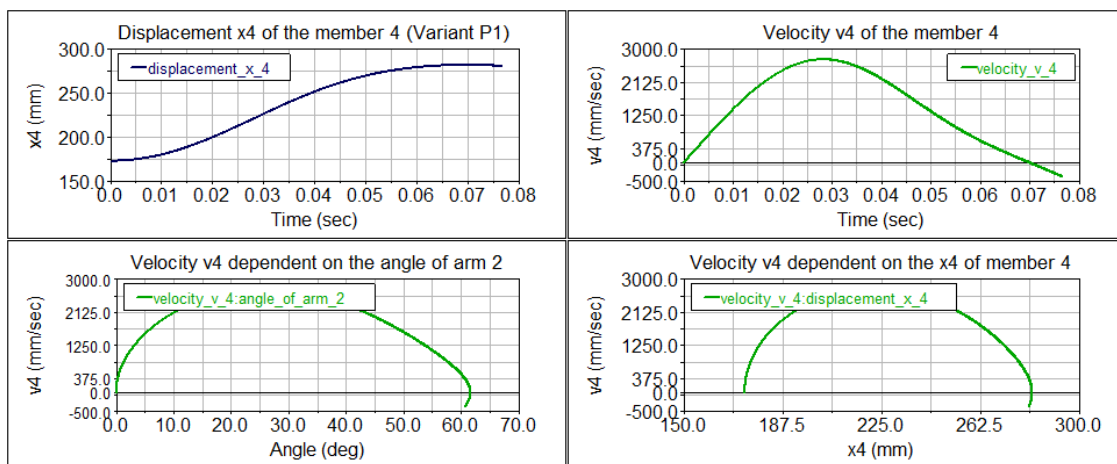
c

Fig. 7. a)-c) Model with MOTION in Joint and Trajectory of the Point of the Member

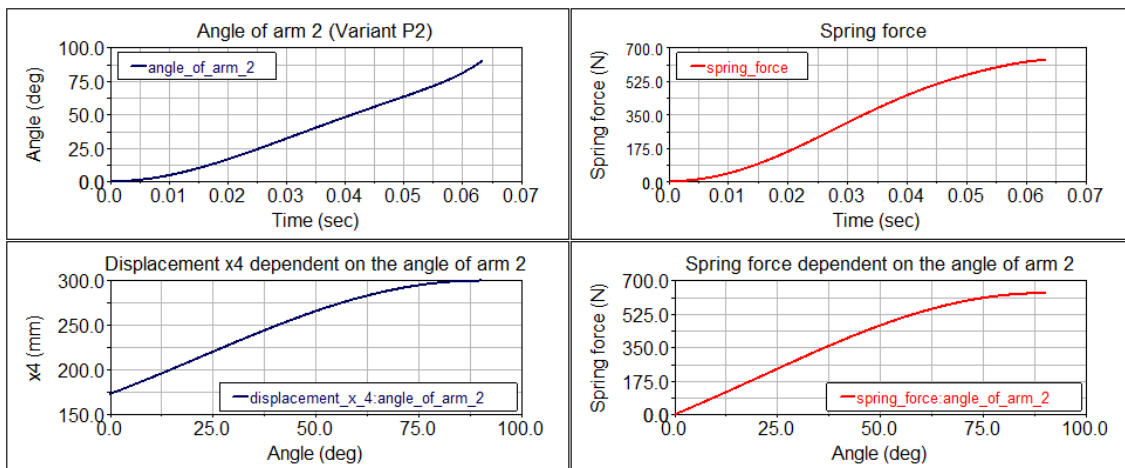
The kinematics parameters of the selected point of the members is shown in Fig. 8 a) to h).



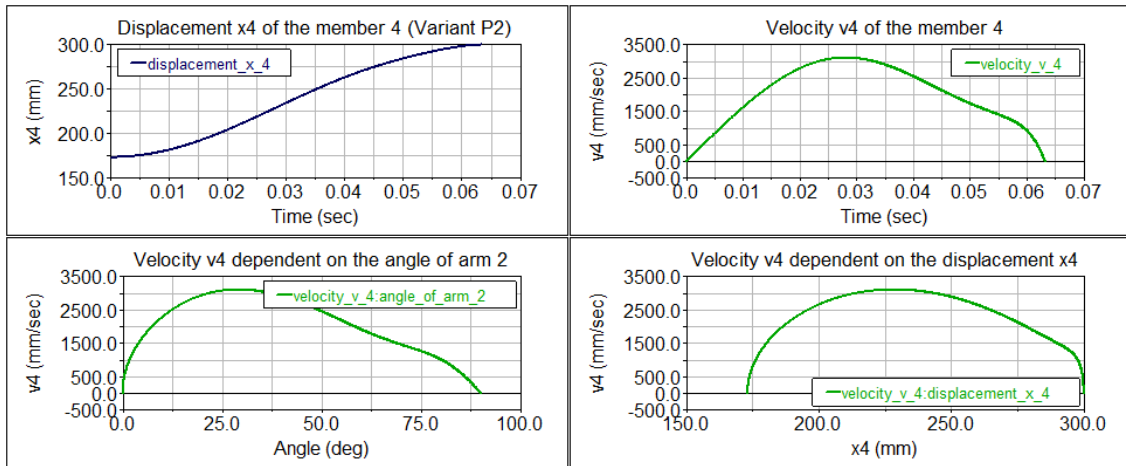
a



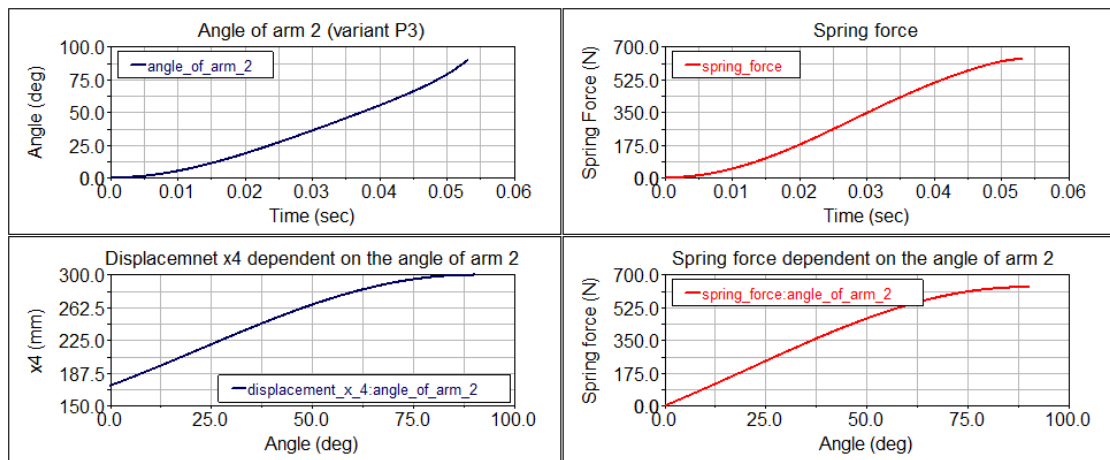
b



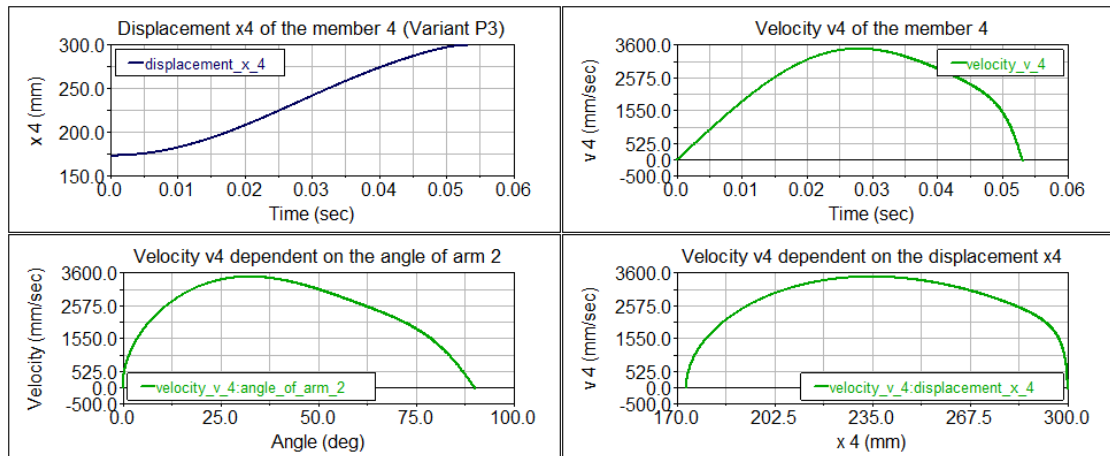
c



*d*



*e*



*f*

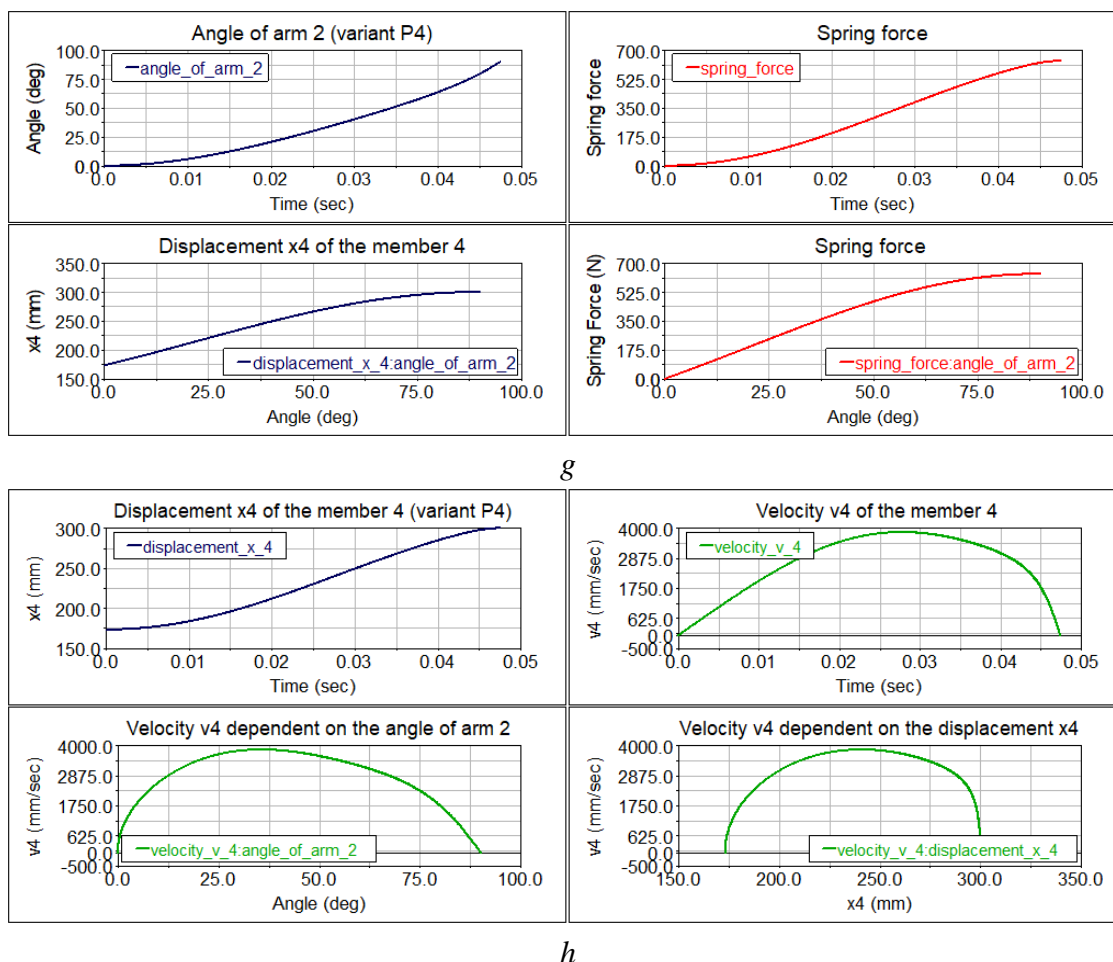


Fig. 8. The kinematics parameters of the selected point of the members of the mechanism  
 a)-b) variant P1, c)-d) variant P2, e)-f) variant P3 and g)-h) variant P4

**Conclusions.** Computer programs allow us to interactively simulate and visualize the model. They allow us to conveniently edit the model and quickly visualize the results. Outputs in the form of graphs allow the display of current values of measured quantities in real time during the ongoing simulation and also bring visualization of the animation of the mechanism movement. It is also possible to create a video output of the simulation in AVI format.

The MSC Adams/View postprocessor is part of the computer prototype modeling process and is a convenient tool for creating, processing, editing and presenting simulation results in the form of graphs. It is also possible to display the model in the current state and print the results prepared in this way. We also calculated the position of the center of gravity of the pressure member 4.

MSC Adams works with a 3D model. The advantage is the ability to simulate the movement of the prototype model and its control in the program environment and verification of functionality in the form of 3D visualization. Based on the results obtained from the simulation, it is possible to modify the proposed model and test its behavior at different magnitudes of the loading force. The software used allows us to quickly assess the behavior of mechanisms under load and thus saves time that would be needed to create real prototypes of mechanisms.

**Acknowledgement.** This work was supported in part by the Ministry of Education of the Slovakia Foundation under grant projects VEGA No. 1/0389/18, grant projects KEGA No. 018TUKE-4/2018 and grant projects KEGA No. 030TUKE-4/2020.

### References

1. Hartenberg, R. S., Denavit, J. A kinematic notation for lower pair mechanisms based on matrices. *Journal of Applied Mechanics*, vol.77, pp.215-221, June 1955.
2. Brát V. *Maticové metody v analýze prostorových vázaných systému*. Praha: Academia, 1981.
3. Kozlov V. V., Makaričev V. P., Timofejev A. V. and Jurevič E. I. *Dynamika riadenia robotov*. Moskva: Nauka, 1984.
4. Stejskal V., Valášek M. *Kinematics and dynamics of Machinery*. New York: Marcel Dekker, 1996.
5. Juliš, K., Brepta, R. 1987. *Mechanika II.díl, Dynamika*. Praha: SNTL Praha.
6. Delyová, I., Frankovský, P., Hroncová, D., 2011. Kinematics analysis of movement of a point of a simple mechanism, In: *Modelling of mechanical and mechatronic systems 2011*, The 4th International conference, TU Košice, Herľany, Slovakia.
7. Gmitterko A., Miková Ľ., Prada E. Analysis of air-spring for a link of hyper-redundant manipulator . *Technical sciences and technologies*, 3 (13), Chernihiv, 2018.
8. Vavro, J., Jr., Vavro, J., Kováčiková, P., Bezdedová, R., Híreš, J. (2017). Kinematic and dynamic analysis and distribution of stress in items of planar mechanisms by means of the MSC ADAMS software, *Manufacturing Technology*, Volume 17, Issue 2, Pages 267-270.
9. Miková, Ľ.: Didactic model of lift, *Technical sciences and technologies*, 3 (13), Chernihiv, 2018.
10. Semjon J., Kostka J., Mako P.: Using the simulation program for the design and optimization of the production line . *Technical sciences and technologies*, 3 (13), Chernihiv, 2018.
11. Gmitterko A., Miková Ľ., Prada E. Analysis of air-spring for a link of hyper-redundant manipulator . *Technical sciences and technologies*, 3 (13), Chernihiv, 2018.
12. <http://www.mscsoftware.com/product/adams>.

Отримано 22.06.2021

УДК 004

### Дарина Гронцова

кандидат технічних наук, кафедра механіки, факультет машинобудування  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина).

E-mail: [darina.hroncova@tuke.sk](mailto:darina.hroncova@tuke.sk). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5988-8353>

## МОДЕЛЮВАННЯ В MSC ADAMS/VIEW ЯК ЧАСТИНА СУЧАСНОГО ПІДХОДУ ДО ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ РОБОТІВ

*У сучасному світі технологій ми стикаємося із широким застосуванням просторових механізмів та пов'язаних механічних систем. Ми досліджуємо дані руху на основі характеристик, які нам потрібно з'ясувати. Є кілька способів їх вирішити. Найстаріші з можливих рішень – це аналітичні та графічні рішення.*

*Нині для кінематичного аналізу доступний ряд комп'ютерних продуктів. Одна з них – програма MSC Adams. Дозволяє графічну та числову обробку обчислених значень, яка дасть вам загальне уявлення про поведінку механізму. Методи опису механізмів – це робота Денавіта та Хартенберга та робота Каліцина, Кисліцина, Лебедевої, Литвина. Загальні методи динамічного аналізу плоских механізмів приписуються авторам: Брат, Козлов, Макаричів, Тимофеев, Юревич, Бейчі, Коплік, Леу, Хауг, Стейскал, Валашек та інші.*

*Перевагою комп'ютерного моделювання є швидкість та гнучкість вирішення завдань у процесі проектування, розробки та впровадження інновацій. У наведеній статті показано рішення кінематичного аналізу механічної системи в MSC Adams.*

*Вирішено модель притискного механізму, що представляє механічну систему з одним ступенем свободи. Мета полягає в тому, щоб вирішити кінематику за допомогою MSC Adams View. Результати рішення графічно обробляються у програмі, що використовується. Використані елементи моделювання та процедури формування тіл та їх кінематичних зв'язків. Перевагою є можливість моделювати рух моделі-прототипу та керувати ним у програмному середовищі, а також керувати продуктивністю у вигляді 3D-візуалізації. За результатами моделювання можна побудувати реальну модель та спроектувати блоки.*

*Програмне забезпечення для моделювання – це зручний інструмент проектування, який заощаджує час та ресурси. Він також підходить для детального дослідження та практичного вивчення механічних систем.*

**Ключові слова:** моделювання; кінематичний та динамічний аналіз; траєкторія.

*Рис.: 8. Табл.: 1. Бібл.: 12.*



**Rudolf Jánoš<sup>1</sup>, Denys Fetko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Production Systems and Robotics  
Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)  
E-mail: [rudolf.janos@tuke.sk](mailto:rudolf.janos@tuke.sk), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5754-9278>

<sup>2</sup>Student of Engineering Studies, Department of Production Systems and Robotics  
Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)  
E-mail: [Denys.fetko@student.tuke.sk](mailto:Denys.fetko@student.tuke.sk)

**THE PNEUMOBIL DESIGN**

*The article describes the design of the body of a pneumobil that is to take part in international races. The shape of the body is designed in CAD software with emphasis on aerodynamic properties. There were also limitations in the design of the shape resulting from the safety and technological possibilities of production. The skeleton will be made of epoxy resin and glass fiber, which will be applied to the hoof made of extruded polystyrene by milling. The article describes the method of production, including technological conditions.*

**Keywords:** pneumobil; compressed air; body; vehicle; composite material.

*Fig.: 4. Table: 1. References: 7.*

**Urgency of the research.** Given that there are significant climate changes at the moment and that they deal with a lot of topics, they are emissions and ecology, a large part of emissions are generated by motor vehicles. That is why in recent years manufacturers have been looking for an alternative. These include, for example, electric cars, hybrid drives, ethanol engines, hydrogen vehicles, as diesel vehicles are banned from entering in some cities. The experimental drive is a compressed air motor [3].

**Target setting.** The article is focused to the design of a pneumobil, which is prepared by our faculty and participated in the 2019 race. The pneumobil has a typical frame, but the body is worse in aerodynamics, exterior and weight. In the chapter they will be able to compare other vehicles that participate in the race. Modeling possibilities in CAD / CAM systems will be described. The body design will work in the Creo Parametrics program [2].

**Actual scientific researches and issues analysis.** Ongoing sales and EU rules are forcing more and more new products in vehicle propulsion systems than in any other area. In terms of the environment, not only the search for a more efficient system, but also so-called renewable energy sources or green energy drives can be developed as an alternative to a conventional internal combustion engine [4].

**Analysis of existing research and publications.** Every year since 2008, the Hungarian city of Eger has hosted international races on vehicles powered by compressed air. The event is intended for students of technical universities. The competition has three disciplines: maximum range, sprint and slalom. Our university has been regularly participating in the competition since 2018. In 2018, it was the first to participate in a three-wheeled vehicle with a star engine, which was quite a problem, and therefore in 2019 they participated in a completely new four-wheeled vehicle [1; 2].

**Introduction.** In the twelfth year of the competition, our university participated in a 4-wheeled vehicle to create the body, we first needed to model a 3D model. For modeling, we used the CAD system Creo Parametric. Since it is possible to see our body in 2019 in (Fig. 1), it was created from several parts, we decided that it would be better to create the body than one whole part.



*Fig. 1. Penumobil Air Force TUKE v 2019 [7]*

The initial step in modeling in 3D CAD systems is to create a model of the part, followed by the creation of drawing documentation for this part. The software also enables the assembly of multiple parts into functional units, into so-called assemblies. It is again possible to create drawing documentation from the assembly. When creating a model in all 3D modeling software, including SolidWorks and Creo Parametric, the first step is to create a 2D or 3D sketch. This sketch can be placed on any plane or in space, in the case of a 3D sketch. After creating the sketch, the conversion of the area model into spatial comes. This allows a number of functions such as extruding a sketch into space, rotating around an axis, and so on. This step is stored with all parameters in the command tree, which clearly shows the construction process of the part. After analyzing the body of similar cars, our body will be built around the entire frame. The model was created according to the model of the frame, which had the exact dimensions of the car and the dimensions of the wheels, which in this case is important to us. The model has better aerodynamic properties, in the front part on both sides we have holes that are oriented for cooling the brakes and less air resistance. In (Fig. 2) is a front view of the body design. On (Fig. 3) it is possible to see the design of the body when viewed from behind [5].



*Fig. 2. Front of the body of pneumobil*



Fig. 3. Rear of the body of pneumobil

**Body production**

Design of the process of manufacturing the model of the body model using milling from polystyrene. Thanks to the created program, a real-size body model will be milled from extruded polystyrene, consisting of several parts that will be connected to each other and will form a real-size body model. Next, the process of producing the final version from epoxy resin and glass fiber will be described [4].

Table 1

General comparison of composite properties depending on the type of reinforcing fiber (+ Favorable, ++ very favorable, - unfavorable)

Properties	Composites		
	glass fibers	aramid composites	carbon composites
Density	+/-	++	+
Tensile strength	+	+	+
Flexibility	-	+	++
Compressive strength	+	-	+
Damping	-	+	-
Static and dynamic stress	++	+	++
Dielectric properties	++	++	-
Adhesion properties	++	+	+
Price	++	+-	-

Using the program created in the CAM system from our 3D model, a body model, in real dimensions, will be milled on a CNC milling machine made of extruded polystyrene. Thanks to the possibilities of Creo, we can simulate the milling process and see the final product after milling, the process can be seen in (Fig. 4).

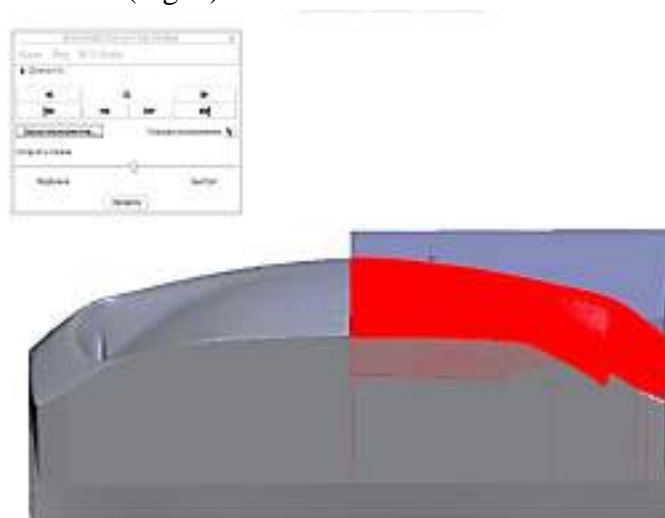


Fig. 4. Simulation of milling process

In our case, the maximum dimension that can be milled is 1000x500mm, because it is the maximum allowable size for our CNC machine. When milling, we use a 12 mm ball cutter for polystyrene. When milling, we divide the work into two stages. The first stage will involve rough machining (roughing), which has the task of removing as much material as possible in the shortest time, and we will enter the following parameters for the CNC machine:

spindle speed: 12000 rpm.

feed rate: 80 mm / s

immersion speed: 30 mm / s

The second stage consists of a welded phase of surface machining, the so-called finishing machining, in which the last remnants of material are removed and the part gets the final shape of the product. The following parameters are required for the operation:

spindle speed: 12000 rpm.

feed rate: 60 mm / s

immersion speed: 20 mm / s.

As a result, our model will consist of several parts that will need to be joined together. We will connect with the help of assembly foam and screws into one component as a whole, which will form a model of the body in real dimensions from polystyrene.

Subsequently, a flat surface without joints and unevenness will be created by machining. We will machine by grinding with corner thicknesses of sandpaper with a grain size from 60 to 400. And in the event of unevenness and gaps, we will apply putty.

The next step in production will be the preparation of a model for the application of polymeric material and reinforcing fiber. Firstly, it is necessary to ensure a better separation of the finished body from our model. Therefore, it is necessary to cover the model with aluminum tape, so that the composite material does not damage the polystyrene and apply a special separating wax to the surface. As a result, the model is then easily removed from the finished mold and will be undamaged.

We apply the composite material to the prepared model using a brush, in our case we chose an epoxy resin called thermoset. This material has many advantages, for example: easy production, low price, low weight and good properties under dynamic loading. After applying the first layer of epoxy resin, it is necessary to lay the reinforcing fiber with thin strips. As a reinforcing fiber, we chose glass fiber, which is also a better option for our body, due to its properties and especially the price. The fiber has relatively high strength and fire resistance. We apply epoxy resin to the deposited layer of glass fiber, the surface of it, 2-3 times, unless the thickness of our body is at least 1.5 mm. After catching the material, we can separate our body from the model. After separation, we get the finished body as a whole made of composite material. For the final appearance of the body, it is necessary to prepare it for painting and create a flat surface, by grinding and guiding. The choice of sanding paper for machining depends on the evenness of the surface, for example, the grain size from G120 to G600. After reaching a flat surface, we can paint the body with synthetic paints.

**Conclusions.** The work is dedicated to the production of a car body, which is made by our university for participation in a car race in Hungary, in the city of Eger. Every year, races for compressed air cars have been held since 2008. Our university has been participating in the race since 2018. By designing a new body, we will improve the aerodynamic properties of the tire, which will improve our team's view of a better result. Based on the design, a body that will take part in the race next year will be produced, as we could not take part in the competition due to the COVID 19 pandemic.

**Acknowledgements.** This article was created thanks to the KEGA project support: 010TUKE-4/2020 Implementation of new knowledge and innovative approaches to the process of teaching robotics in line with Industry 4 and KEGA project support: 004TUKE-4/2021 Development of innovative teaching materials for learning multi-agent robotics.

### References

1. CHUNG, Deborah. Composite Materials: Science and Applications. 2. vyd. London: Springer, 2010, ISBN 9781848828308.
2. FREIBAUER, Martin, Hana VLÁČILOVÁ a Milena VILÍMKOVÁ. Základy práce v CAD systému SolidWorks. 2., aktualiz. vyd. Brno: Computer Press, 2010.
3. KRATOCHVÍL, Bohumil, Václav ŠVORČÍK a Dalibor VOJTĚCH. Úvod do studiamateriálů. Vyd. 1. Praha: Vysoká školachemicko-technologická, 2005.
4. PRAVEENGOUDA, P. Applications of Composites materials in the Automotive industry [online]. Last revision on 6th February 2010 <http://www.scribd.com/doc/32475280/Composites-in-the-Automobile-Industry>.
5. SADÍLEK, Marek. CAM systémy v obrábání I. 1. vyd. Ostrava: VŠB -Technická univerzita Ostrava, 2008, 145 s. ISBN 978-80-248-1821-4.
6. SCHULTZ, R.M. Energyabsorption capacity of graphite-epoxy composite tubes [online]. Scholar.lib.vt.edu. Last revision on 20th November 1998.
7. Pneumobil.hu. Exhibited pneumobiles [online]. [www.pneumobil.hu](http://www.pneumobil.hu) (24.9.2021).

Отримано 25.06.2021

УДК 621.865.8

### Рудольф Янош<sup>1</sup>, Денис Фетко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доцент, факультет машинобудування, кафедра виробничих систем та робототехніки  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [rudolf.janos@tuke.sk](mailto:rudolf.janos@tuke.sk). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5754-9278>

<sup>2</sup>здобувач вищої освіти інженерної справи, факультет машинобудування,  
кафедра виробничих систем та робототехніки

Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [Denys.fetko@student.tuke.sk](mailto:Denys.fetko@student.tuke.sk)

### ДИЗАЙН ПНЕВМОБІЛУ

*Враховуючи, що на даний момент відбуваються значні зміни клімату і що вони стосуються багатьох тем, це викиди та екологія, значна частина викидів створюється автотранспортом. Ось чому останнім часом виробники шукають альтернативу. До них належать, наприклад, електромобілі, гібридні приводи, двигуни з етанолом, автомобілі з воднем, оскільки в деяких містах заборонено в'їзд автомобілям на дизельних двигунах. Експериментальний привід – це двигун зі стисненим повітрям [3].*

*Стаття зосереджена на дизайні пневмомобіля, який підготовлений нашим факультетом та брав участь у перегонах 2019 року. Пневмомобіль має типову раму, але кузов гірший за аеродинамікою, зовнішністю та вагою. У розділі вони зможуть порівняти інші транспортні засоби, які беруть участь у гонці. Буде описано можливості моделювання в системах CAD / CAM. Дизайн кузова працюватиме в програмі Creo Parametrics. [2]*

*Поточні продажі та правила ЄС змушують створювати все більше нових продуктів у системах руху автомобілів, ніж у будь-якій іншій сфері. З погляду навколишнього середовища, не тільки пошук більш ефективної системи, але і так звані поновлювані джерела енергії або приводи зеленої енергії можуть бути розроблені як альтернатива звичайному двигуну внутрішнього згоряння [4].*

*Щороку, починаючи з 2008 року, угорське місто Егер проводить міжнародні гонки на автомобілях зі стисненим повітрям. Захід призначений для студентів технічних вузів. Змагання мають три дисципліни: максимальну дистанцію, спринт та слалом. Наш університет регулярно бере участь у конкурсі з 2018 року. У 2018 році він першим взяв участь у триколісному транспортному засобі з двигуном зірки, що було досить проблематичним, і тому у 2019 році вони взяли участь у абсолютно новому чотириколісному а транспортному засобі [1; 2].*

*Робота присвячена виробництву кузова автомобіля, виготовленого нашим університетом для участі в автоперегонах в Угорщині, в місті Егер. Щорічно гонки на автомобілях зі стисненим повітрям проводяться з 2008 року. Наш університет бере участь у перегонах з 2018 року. Розробивши новий кузов, ми покращимо аеродинамічні властивості шин, що покращить уявлення нашої команди про кращі результати. На основі дизайну буде виготовлено кузов, який візьме участь у перегонах наступного року, оскільки ми не могли взяти участь у конкурсі через пандемію COVID 19.*

**Ключові слова:** пневмомобіль; стиснене повітря; кузов; транспортний засіб; композитний матеріал.

*Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 7.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-110-116

UDC (07)621.7,621.8

**Peter Tuleja<sup>1</sup>, Martin Ščurka<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Eng., PhD, Assistant Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation, Mechatronics, Robotics and Production Systems, Department of Production Systems and Robotics  
Technical University in Kosice (Kosice, Slovakia)

E-mail: [peter.tuleja@tuke.sk](mailto:peter.tuleja@tuke.sk). Scopus Author ID: 55570858300

<sup>2</sup>Eng., Designer of Tatravagonka a. s. (Poprad, Slovakia)

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

### RETROFIT OF PNEUMATIC MECHANISM MODEL USING VACUUM

*The article describes a device for transferring manipulation objects using a vacuum suction cup. The suction cup is carried by the arm of the swing mechanism. The swing mechanism is realized by transforming the linear motion from a pneumatic pistonless drive to a rotary motion. The rack and pinion transformation block was used for this.*

*The article describes the retrofit procedure of the originally designed structure, which had unsatisfactory parameters.*

*In addition, the issue of saving the compressed air needed to generate the vacuum in the suction cup was addressed. Modification of the circuit can be performed by the manipulation cycle without the need for permanent activation of the ejector.*

*The solution in its current form is used for the educational purposes of the department in the training of skills in the deployment of pneumatic mechanisms and in their programming.*

**Keywords:** training; electropneumatics; controller; retrofit; swing mechanism.

**Fig.:** 13. **References:** 4.

**Urgency of the research.** Several models of mechanisms are available in the conditions of the Laboratory of Pneumatic Mechanisms of our institute. These are designed for the training process to master the basic programming and other routines of our students.



Fig. 1. Training table in its current form

The models we have placed on the so-called training table [2] (Fig. 1), originated gradually from its installation to the present day and is still a "living" process of continuous change. This process is strongly influenced by several factors, e. g. availability of the necessary components on the market.

As some models used the currently surviving types of building components at the time of their creation, there was a need for a retrofit of these models.

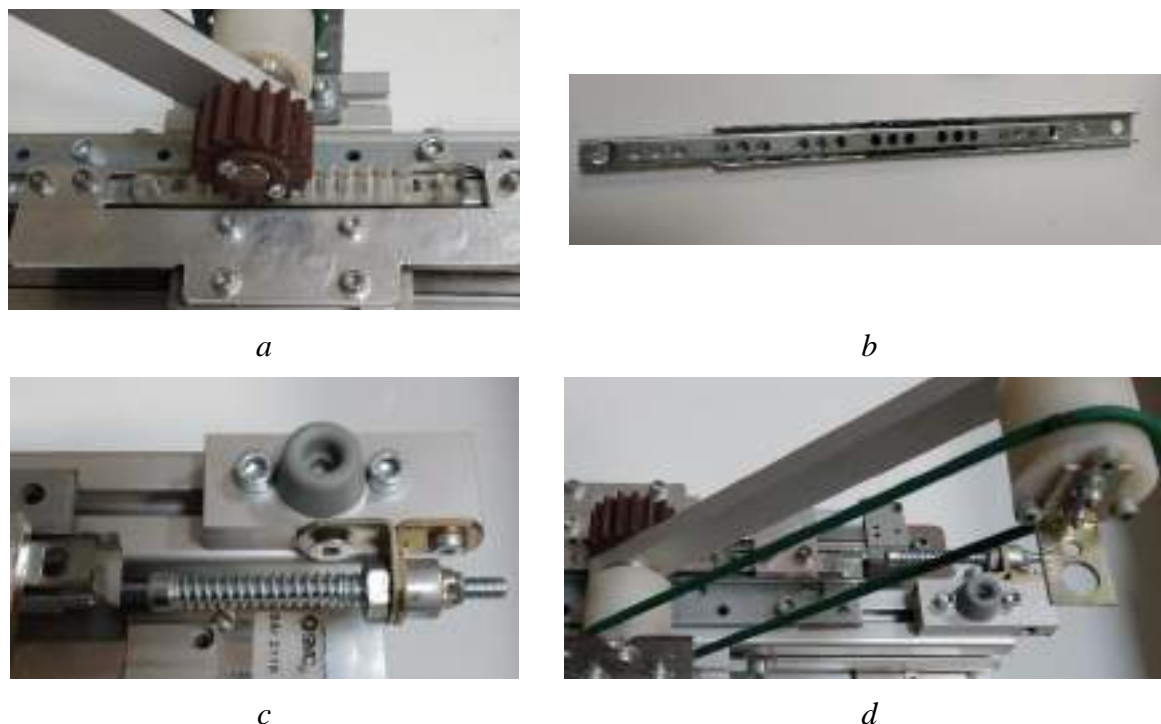
**Target setting and actual researches and issues analysis.** One of the retrofitted models is also the model of the mechanism, collectively referred to as Workplace 6: Mechanism with a suction cup [3].

It is a model of a mechanism based on a linear driving force from a pistonless pneumatic drive using a rack and pinion transformation block, thus achieving the resulting swinging motion with a range of 180° (Fig. 2).



*Fig. 2. The original model of the solved mechanism*

The original concept used usable components for this purpose, but technically and especially from the point of view of reliability (Fig. 3).

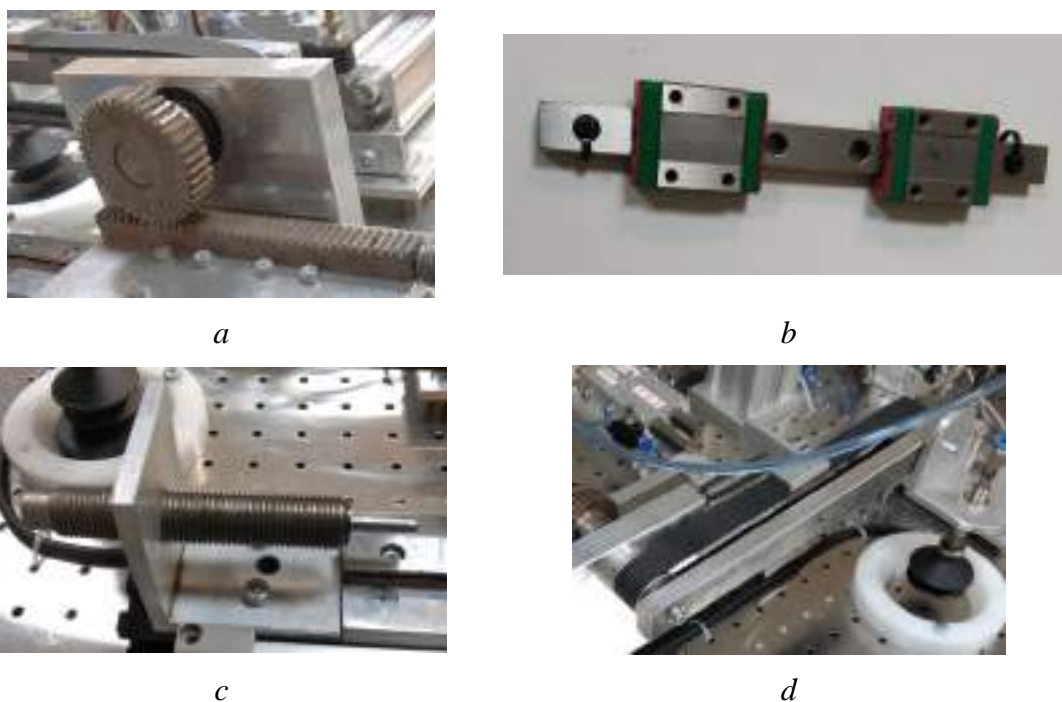


*Fig. 3. The most problematic components of the original mechanism*

A major problem was the use of plastic transformer block components. In addition to the material, the modulus of the tooth of the rack and pinion was also problematic (Fig. 3a). A "drawer" guide rail, used in the furniture industry, was used as a guide (Fig. 3b). The properties of these two components caused excessive frictional resistances, resulting in shock movements during the start-up of the mechanism. A simple spring bumper was used as a way to compensate for this phenomenon (Fig. 3c), which was able to transfer the accumulated energy during the reversal of the drive to the outer position during the reversal of the motion. This softened the sudden start of the mechanism, but was not completely removed. A synchronizing member used with the intention of maintaining the orientation of the suction cup throughout the movement of the arm (Fig. 3d), was stripped and shifted during cycling (a circular belt was used as a synchronization belt for roller conveyors).

All this together led to the described retrofit, which was realized in the form of a diploma thesis [1].

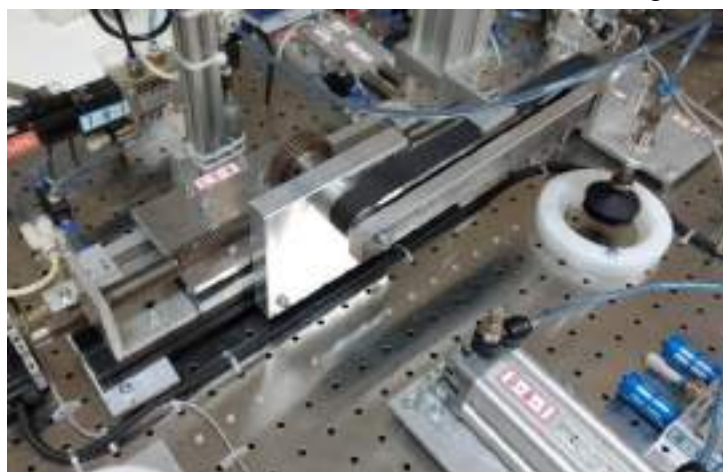
**The statement of basic materials.** The problems causing the components were thus known; it was necessary to find suitable substitutes that would eliminate the shortcomings of the original solution (Fig. 4).



*Fig. 4. Náhrady problematických komponentov mechanizmu*

First of all, the plastic rack-pinion transformer was replaced by a metal one (Fig. 4a), the more preferred modulus of the tooth being used ( $m = 1$ ). The ridge with the carrier was placed on a professional linear guide (replica HIWIN MGN12C) (Fig. 4b). By applying these two changes in the original equipment, a smoother operation of the mechanism was achieved. The originally designed spring bumper was replaced by a professional kinetic energy damper (SMC RJ1410) (Fig. 4c). This ensured a significantly better damping function in the end positions of movement. The ambiguity in the synchronization of the suction cup orientation during movement was removed using a toothed belt with pulleys (Fig. 4d).

These modifications created a new version of the mechanism (Fig. 5).



*Fig. 5. Mechanism model after retrofit application*



To increase the attractiveness of education, the model was supplemented with a gravity tank with a feeder (Fig. 6).



*Fig. 6. Gravity tank of objects with feeder*

The feeder is realized by a pneumatic linear drive with a guide (replica SMC CDQMB16 50D). Using the "blade", manipulation objects ( $O_M$ ) are pushed out of the tank tube (Fig. 7), into a conically shaped space, which serves as a place for removing the  $O_M$ .



*Fig. 7. Manipulated object*

The  $O_M$  is gripped at the sampling point by a bag suction cup on a spring holder (SMC ZPT25DSK10-M5-A10) (Fig. 8). The suction cup is carried by a swing mechanism on an arm with a length of 220 mm (spacing between the axes is 187 mm).



*Fig. 8. Bag suction cup with a spring holder*

FEM analysis of mechanism arm at a load of 200 grams (considerably exaggerated total weight of the suction cup carrier, suction cup with spring holder and  $O_M$ ) is shown in (Fig. 9).

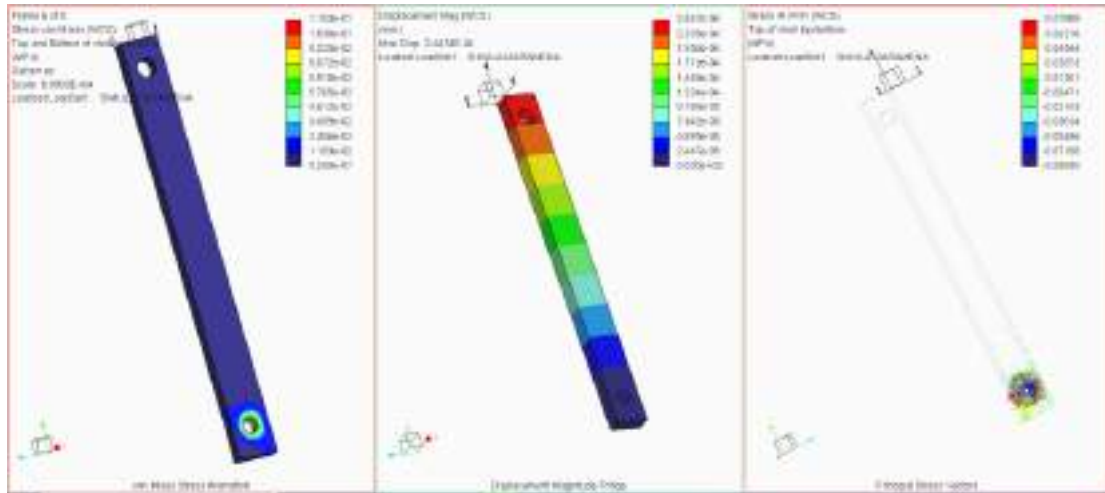


Fig. 9. FEM analysis of the mechanism arm [1]

When controlling the operation of the mechanism, the presence of  $O_M$  in the gravity tank is also monitored, which was realized using an optical sensor (KEYENCE CZ-11 with receiver CZ-K1P) (Fig. 10).

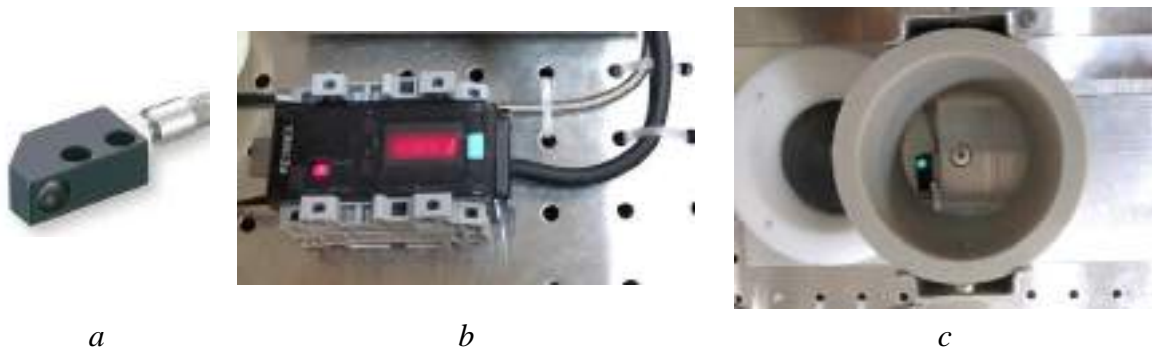


Fig. 10. Presence sensing  $O_M$ :  
 a) sensor [3], b) receiver, c) location of the sensor at the bottom of the gravity tank

When operating the mechanism, emphasis was also placed on saving compressed air. Therefore, to create a gripping force between the suction cup and the  $O_M$ , the air-saving circuit needed to generate the vacuum in the ejector was used (Fig. 11).

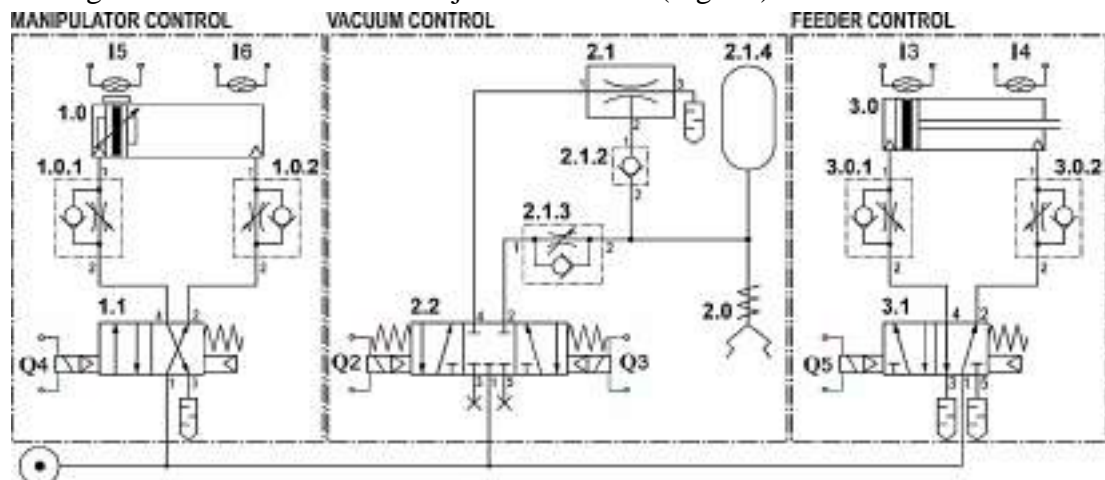


Fig. 11. Mechanism circuit diagram

The vacuum circuit then works as follows:

The signal from the PLC for a short time (0.5 s) held on connector **Q3** will ensure air flow through valve **2.2** in the direction of channels 1-4 which will activate the vacuum generation in ejector **2.1** on channel 2. The vacuum "fills" the circuit in the part bounded by ejector **2.1** (its channel 2) valve **2.2** (its channel 2), vacuum reservoir **2.1.4** and suction cups bell **2.0** closed by  $O_M$ . This vacuum remains closed in the described part of the circuit due to the presence of the non-return valve **2.1.2**. The arm movement can start (drive movement **1.0**). When the actuator reaches the position under sensor **I6**, the PLC sends a short signal (approx. 0.8 s) to the connector **Q2** of valve **2.2**. This causes the suction cup to separate from the manipulated body (since compressed air then flows through the throttle valve **2.1.3**) and the arm (actuator **1.0**) can return to its initial position (by canceling the signal at connector **Q4** of valve **1.1**). If another  $O_M$  is prepared at the collection site, the process can be repeated.

The manipulation process ends when the  $O_M$  presence sensor in the magazine sends a signal about the absence of the part. Then the red light on the connected traffic light comes on (Fig. 12), and after the last  $O_M$  is transferred to the storage location, the process is stopped and the manipulator arm remains above the storage location.



Fig. 12. Traffic light on after ejecting the last part from the hopper

The movements of the manipulator and the component feeder are evident from the wiring diagram (Fig. 11).

The FBD diagram of the program in the PLC is shown in (Fig. 13).

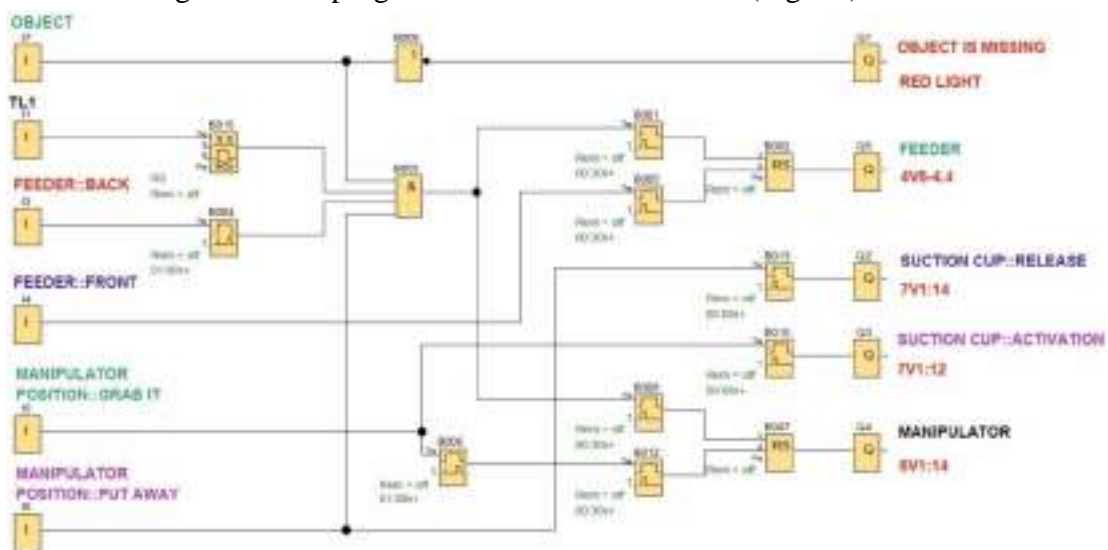


Fig. 13. FBD program diagram for controlling the activities of the mechanism

**Conclusion.** The retrofit procedure of the existing model for educational purposes in the form of a student's diploma thesis has proved very successful in this case. The material output of the student's work in solving the final thesis project was not only a benefit for the student in his good evaluation at the state exam, but also brought benefits in the form of a new model usable in a set of other models for practical preparation of our students for real technical practice.

**Acknowledgements.** This article was created thanks to the KEGA project support: 010TUKE-4/2020 Implementation of new knowledge and innovative approaches to the process of teaching robotics in line with Industry 4 and KEGA project support: 004TUKE-4/2021 Development of innovative teaching materials for learning multi-agent robotics.

### References

1. Ščurka, M., Tuleja, P.: Návrh zariadenia pre špecifickú manipulačnú úlohu, Diplomová práca, Technická univerzita v Košiciach, Strojnícka fakulta, Košice, 2021, 58 str. [in Slovak].
2. Tuleja, P., Mamontov, P. (2018) Application of industrial pneumatic components in the educational process. *Technical sciences and technologies*, 3 (13), 68–73. ISSN 2411-5363.
3. Tuleja, P. (2021). Teaching methodology for electro-pneumatic systems modified by pandemic situation. *Technical sciences and technologies*, 2 (24), 38–42. ISSN 2411-5363.
4. <https://www.keyence.eu/cscz/products/sensor/photoelectric/cz/models/cz-11/>.

Отримано 05.07.2021

УДК (07)621.7,621.8

**Петро Тулея<sup>1</sup>, Мартін Щурка<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Eng., PhD, доцент факультету машинобудування  
Інституту автоматизації, мехатроніки, робототехніки  
та виробничих систем кафедри виробничих систем та робототехніки  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина).  
E-mail: [peter.tuleja@tuke.sk](mailto:peter.tuleja@tuke.sk)

<sup>2</sup>інженер, конструктор “Tatravagonka a. s.” (Poprad, Slovakia)  
E-mail: [martin.scurka@gmail.com](mailto:martin.scurka@gmail.com)

## РЕТРОФІТ МОДЕЛІ ПНЕВМАТИЧНОГО МЕХАНІЗМУ ЗА ВИКОРИСТАННЯ ВАКУУМУ

У статті розглядається реальний процес структурних модифікацій моделі пневматичного механізму, призначеного для навчальних цілей, у процесі підготовки студентів кафедри до технічної практики.

Практичному навчанню останнім часом надається велике значення, але в педагогічній практиці досі бракує засобів навчання для їх впровадження.

У статті не йдеться про деталі, а про загальний підхід до вирішення проблеми модернізації незадовільної моделі механізму, про який йдеться.

У статті описано процес модернізації моделі пневматичного механізму для маніпулювання об'єктом за допомогою вакууму (присоски). Метою статті є підхід до процедури та впровадження вдосконалення практичного навчання з використанням реальних технічних засобів, реалізованих як результат випускних робіт студентів.

Технічне рішення модернізації, описане у статті, відповідає стандартним процедурам вирішення подібних завдань. Рішення базується на аналізі недоліків попереднього рішення та дає вказівки щодо рішення з практичною реалізацією з використанням наявних компонентів.

Представлений опис модернізації освітньої моделі реального механізму маніпуляцій з використанням вакууму з акцентом на економії споживання стисненого повітря разом із реальною продуктивністю відновленого та функціонуючого механізму є прикладом для інших подібних проектів у рамках заключних дипломних робіт, результатом яких є фізична модель, придатна для використання в освітніх цілях.

**Ключові слова:** навчання; електропневматика; контролер; модернізація; механізм розгойдування.

**Patrik Zakucia<sup>1</sup>, Michal Kelemen<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Engineer, Faculty of Mechanical Engineering  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)

**E-mail:** [patrik.zakucia@student.tuke.sk](mailto:patrik.zakucia@student.tuke.sk)

<sup>2</sup>Prof. Ing., PhD., Faculty of Mechanical Engineering  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)

**E-mail:** [michal.kelemen@tuke.sk](mailto:michal.kelemen@tuke.sk). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2274-3828>

## EDUCATIONAL TWO WHEELED MOBILE ROBOT

*The article deals with the design of a mobile two wheeled robot, which is intended for educational purposes. The robot is designed as a kit with the possibility of modification and innovation. This robot gives students a chance to develop their creativity and skills. The remote control system was designed with the possibility of using a mobile phone. A mobile phone software application has also been developed.*

**Keywords:** mobile robot; remote control; Arduino.

*Fig.: 13. References: 4.*

**Urgency of the research.** The topic of the article is the development of a didactic model of a wheeled robot for the educational process of high school and university students, in the study programs Mechatronics and Robotics, where practical education is needed and this didactic model must be used.

**Target setting.** There are currently no cheap modular mobile robot kits available on the market that could be used for didactic purposes. The developed didactic model is conceived as a kit and so the student must build the whole model and create an electronic and software part. The robot model also creates the possibility of further creative activity of students in its further development and addition of other modules and devices. The aim is to support students' creativity and to support their experience and skills in this area.

**Analysis of existing research and publications.** A six-wheel version of the didactic model of the robot was developed in [1]. This robot uses a teleoperator control system. However, the developed model does not allow to modify the connection of electrical parts but contains a fixed printed circuit board PCB. Two-wheeled inverted pendulum type mobile robot for educational purposes has been developed in work [2]. Educational mobile wheeled robot with a smartphone attached was developed for practical experiments of students [3]. Work [4] introduces design of ball collecting robot.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The algorithm of autonomous navigation of a mobile robot and the algorithm of mapping the workspace of a mobile robot were not solved in this work. This issue is planned to be addressed in the future.

**Article objective.** In this work, the creation of a chassis is addressed and the possibility of control by a teleoperator system is also addressed, which creates space for the use of the robot and for promotional purposes for the use of the robot as a game application. This robot can also be used as an inspection robot and can add other service tasks after adding other modules.

**General overview of the system.** The chassis (Fig. 1) consists of two round plastic transparent plates, which are connected by spacers and screws. There are many holes and cutouts in the boards, for better handling of the cabling and also for easy attachment of components. Engines with gearboxes, which are constructed with a gearbox, are attached to the lower base. The movement of the robot is enabled by the wheels connected to the output shaft of the gearbox. The stabilization of the robot is ensured by two more rotating wheels, which are also mounted on the lower base in the front and rear of the robot. The chassis allows the placement of sensors for tracking the navigation line, so the robot can be used as a linefollower. In the upper part of the robot there is space for the location of the ultrasonic and infrared obstacle sensor for the navigation of the mobile robot (Fig. 1).

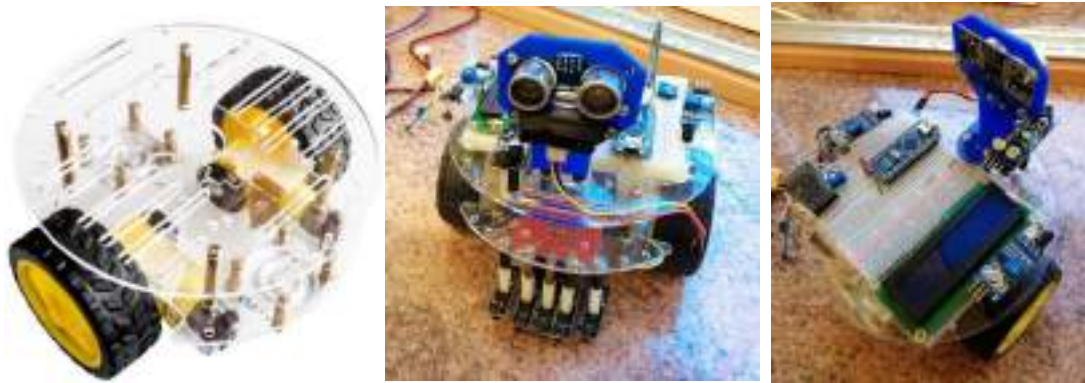


Fig. 1. Mobile robot chassis and location of sensor modules

The robot is driven by two DC motors with a gearbox with a gear ratio of 1:48 and an encoder rotating disk with grooves for measuring the speed of rotation of the wheels. The direction and speed of movement of the mobile robot is given by the difference between the speeds of the left  $v_L$  and the right wheel  $v_R$  (Fig. 2).

The instantaneous radius of rotation of the mobile robot can then be determined from the relation:

$$R = \frac{L}{2} \cdot \frac{v_R + v_L}{v_R - v_L} \quad (1)$$

The instantaneous translation speed of the center point P of the robot chassis can also be determined as a dependence on the angular speeds of the wheels  $\omega_R$  and  $\omega_L$  from the relation (Fig. 2):

$$v_P = \frac{v_R + v_L}{2} = R \cdot \frac{\omega_R + \omega_L}{2} \quad (2)$$

The position of the robot (fig. 2) can be described using the coordinates  $x_P$  and  $y_P$  and the direction angle  $\varphi_P$ :

$$\dot{x}_P = v_P \cdot \cos \varphi_P; \quad \dot{y}_P = v_P \cdot \sin \varphi_P; \quad \dot{\varphi}_P = \omega_P \quad (3)$$

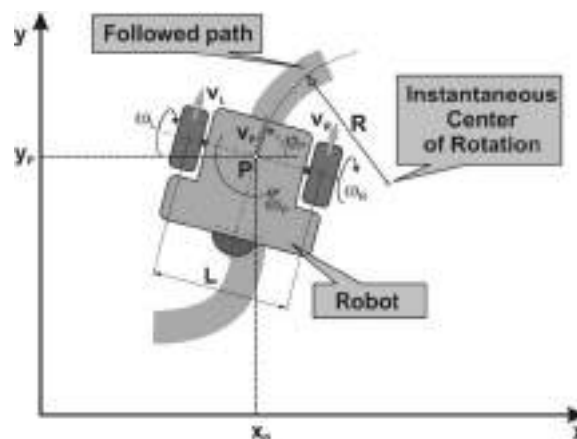
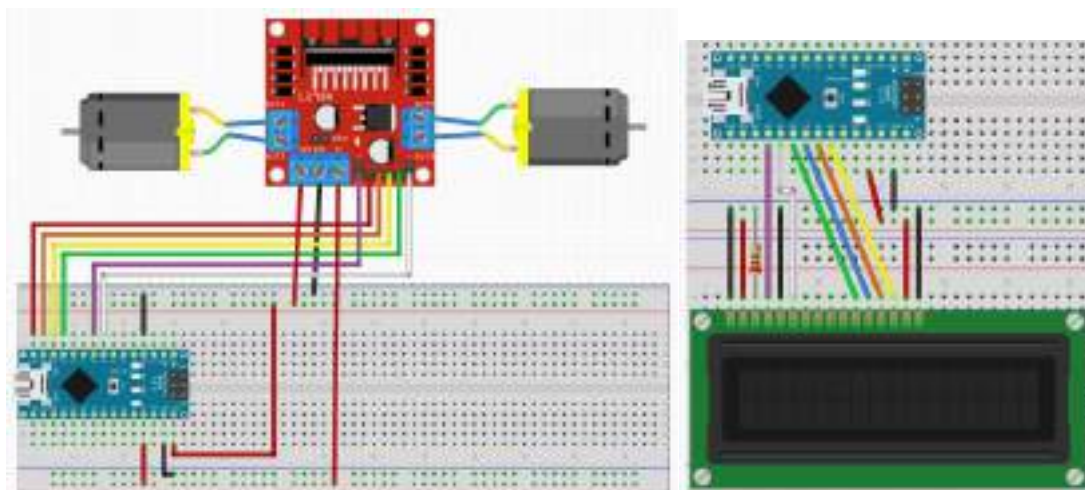


Fig. 2. The principle of robot control in a coordinate system

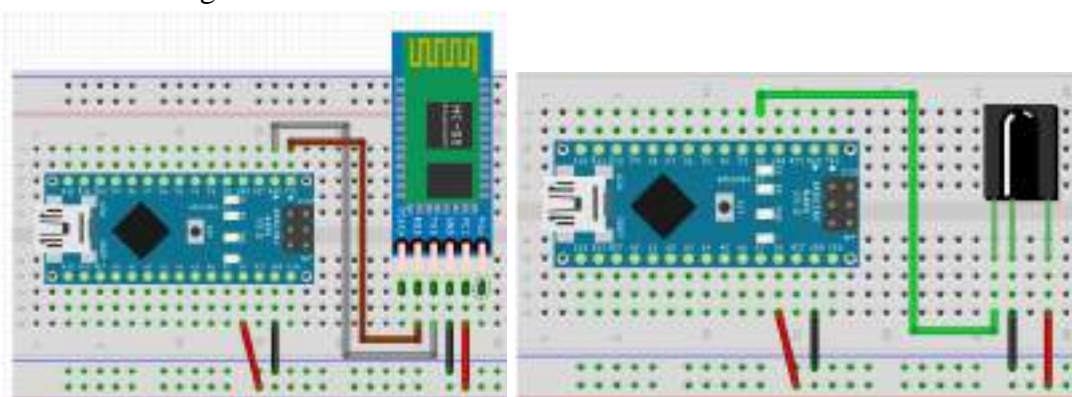
A dual motor driver L298N connected to an Arduino controller is used to control the motors. It is an integrated double H-bridge with protective elements for controlling DC motors. The display of information messages is solved using the LCD display LCD1602, which has 16 characters in two lines with color LED backlight (Fig. 3).



*Fig. 3. DC motor driver and LCD display*

For communication with a mobile robot, a Bluetooth module HC-05 and an infrared receiver VS1838 are connected, which also contains a noise filter (Fig. 4). The Bluetooth module is connected to the Arduino controller via a serial interface and allows the robot to be controlled via a mobile phone. The infrared receiver is designed to receive information from standard infrared controllers for home devices, so they can be used to control this mobile robot.

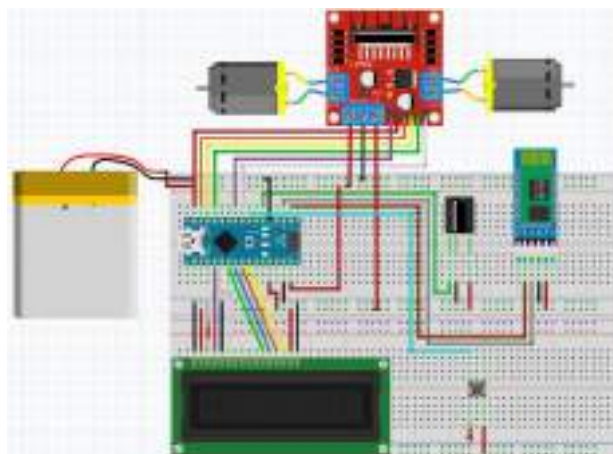
The power supply of the mobile robot is solved by means of a two-cell LiPo battery with an alarm for signaling the decrease of the electric voltage of the accumulator below the critical value on any cell of the accumulator. A drop in the voltage of a battery cell is indicated by an audible and visual signal.



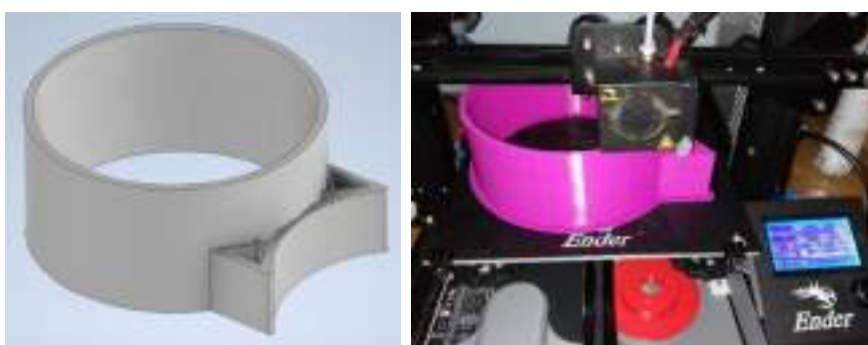
*Fig. 4. Connection of Bluetooth module and infrared communication module*

The final connection of the modules is realized on a solderless breadboard, so that students can adjust and modify the connection as needed. It will be possible to add other modules later and expand the functionality of the mobile robot (Fig. 5).

For safety and against damage to individual electronic or supporting components and parts of the robot, a protective frame was designed (Fig. 6). The protective frame consists of the main part and two beams, by means of which the frame is attached to the chassis of the mobile robot. The protective frame is made by FDM 3D printing technology from SPLA material, which has good print quality even at high print speeds and low shrinkage when the material cools.



*Fig. 5. The overall implementation of the electrical part of the robot control unit*



*Fig. 6. Protective frame of the robot*

The main part of the frame is a round base and is connected together with the beams by means of screws and nuts (Fig. 7). This protective frame is attached to the lower base of the robot. The frame also includes a blade with reinforcement in the front part for better handling of the ball or other objects.



*Fig. 7. Connection of the protective frame and the chassis of the robot and the overall implementation of the mechanical part of the robot*

To control using bluetooth technology, it was necessary to create an application on the controller itself. Any smartphone with the Android operating system can be used as a wireless remote control, as it is compatible with the bluetooth module HC-05. We decided to program the mentioned application in an internet application called MIT App Inventor, developed by Google, which is available to everyone registered in this company. MIT App Inventor is a graphical programming language for mobile devices, in which it is possible to develop quality applications, but it is only supported for Android operating systems. This development program creates the graphical appearance of the application as well as its algorithmic part.



The first step was to create a graphic design (Fig. 8), where the landscape orientation of the screen was chosen, for better handling of the phone. We divided the basic screen into horizontal, vertical and tabular lines, in which we inserted buttons for all possible directions of robot movement. Through the user interface, we have created a list with a bluetooth icon, where all active bluetooth devices will be displayed after clicking. When you turn on the application, Not connected appears on the screen, which means that no device is connected to the application. When you open the list, select and connect the given active device, the mentioned inscription will change to Connented. In case of disconnection or connection failure of the device, the text Not connected will be displayed on the screen again. For a more beautiful visualization of the application, we assigned a background to the application, on which we placed our own author's mark. We have assigned images of arrows to the buttons of the direction of movement of the robot, which show the direction of movement of the robot (Fig. 8).



Fig. 8. Operator panel of a mobile application for robot control

The next step was to program the application, create the source code of the application. In the MIT App Inventor application, the algorithmic part of the application is created very easily using blocks, where we combine the given blocks into the program functions. In (Fig. 9) we can see that in the block before selecting the device, the application will list the address and name of all active bluetooth devices. After selecting a specific device, the application will automatically connect us to the device. The following are commands for Not connected and Connected to appear on the screen.

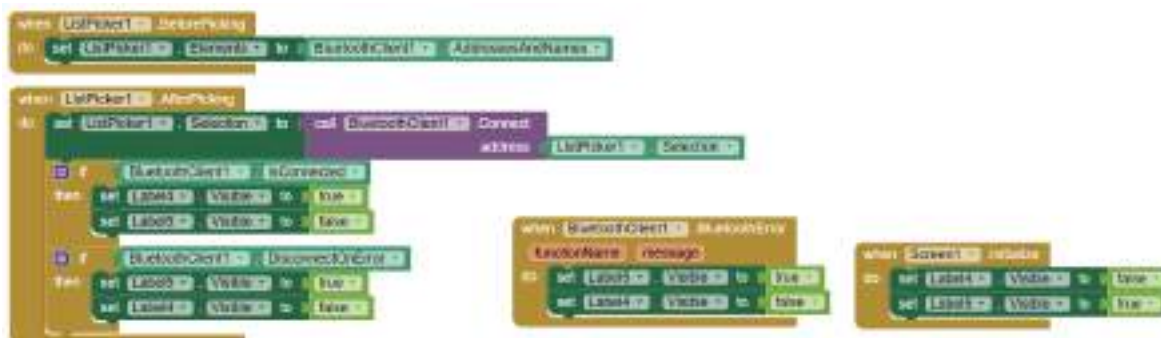


Fig. 9. The source code of the application for connecting the device

Furthermore, separate blocks have been created for each direction button (Fig. 10). If the button is pressed, then the application sends a specific associated text to the Arduino. When any button is released, the text S is sent, which means that the robot stops immediately. In the last step, an application was generated that can be downloaded and installed on a smartphone.

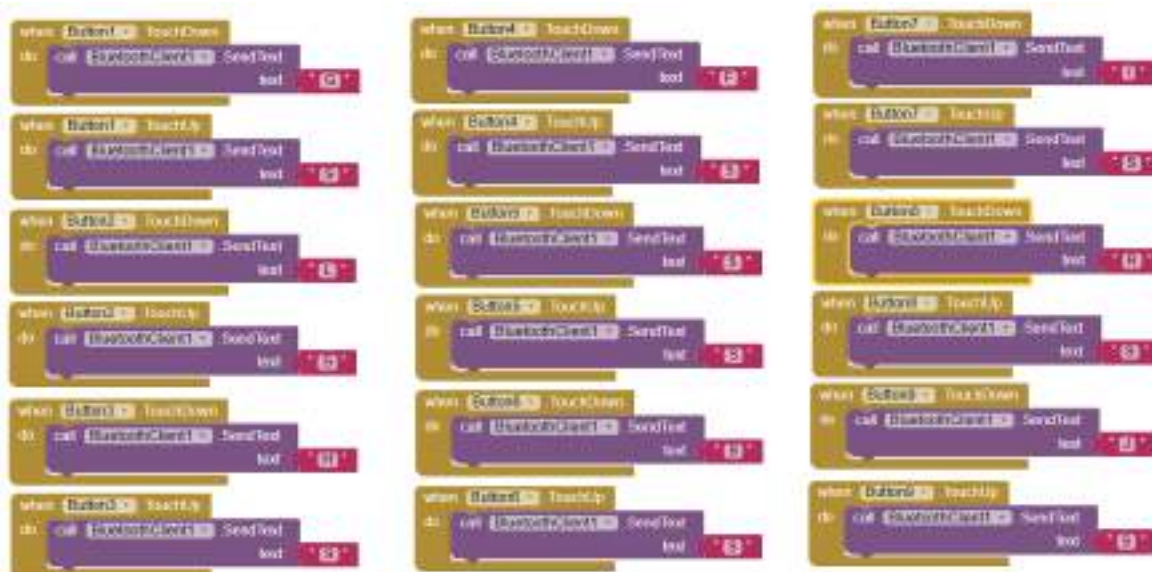


Fig. 10. Application source code for buttons

The MIT App Inventor application also allows you to create a QR code for immediate download of the application to a smartphone. A QR code is textual information that consists of white and black square modules assembled into a square matrix. Most smartphones with a built-in camera can decode this text information contained in this code. We can download our application using the generated two-dimensional barcode, which we can see in (Fig. 11).



Fig. 11. QR code to download the application

To make the connection between the wireless remote control and the robot work, a source code or program was also created for the Arduino installed in the mobile robot (Fig. 12). For programming with the HC-05 module, the library was imported with the command `#include` with the header file `SoftwareSerial.h`. Subsequently, a value named "value" was defined using the char data type. This character value serves as a variable that will change according to the commands that the HC-05 module receives. The data flow was set in bits per second (baud) for serial data transmission using the `Serial.begin` command. The specific baud rate for the HC-05 bluetooth module is 9600 bits per second. The if condition was placed in the program to move the robot, because it is necessary that this part of the program be executed only when something is valid. This means that if the read value sent by the bluetooth module application is equal to a value greater than zero, then the given condition is executed. After pressing the application button, the assigned text of the pressed button will be equal to the character value in the Arduino program. The exact subroutine is called according to the read value. If the subroutine was executed, we used the break statement to end the cycle, which ended the condition, which in turn will wait for the assigned value, and this cycle will be repeated again and again. The subroutines called are located below the void loop () in the program (Fig. 12).

```

#include <SoftwareSerial.h> //biblioteka pre bluetooth
#include <DFRobot.h> //biblioteka pre modul L298N
char hodnota; //definovanie znakovej hodnoty
int pravymotorodopreda = 12; //definovanie pozony pinov
int pravymotorodozadu = 11;
int EMA = 6;
int levymotorodopreda = 10;
int levymotorodozadu = 9;
int EMA = 5;
void setup()
{
  pinMode(pravymotorodopreda,OUTPUT); //definovanie vystupnych pinov
  pinMode(pravymotorodozadu,OUTPUT);
  pinMode(EMA,OUTPUT);
  pinMode(levymotorodopreda,OUTPUT);
  pinMode(levymotorodozadu,OUTPUT);
  pinMode(EMA,OUTPUT);
  Serial.begin(9600); //nastavenie seriového prerozu dát
}
void loop()
{
  if(Serial.available() > 0) //vykonanie podmienky ak hodnota > 0
  {
    hodnota = Serial.read(); //načítaná hodnota sa uloží do znakovej hodnoty
    Stop(); //zastavenie robota
    //podľa načítanej hodnoty sa zvolí podprogram
    switch(hodnota)
    {
      case 'F': Dopreda(); //ukončenie cyklus
      break;
      case 'B': Dostadi();
      break;
      case 'L': Doleva();
      break;
      case 'R': Doprava();
      break;
      case 'S': Stop();
      break;
      case 'G': Dopreda_doleva();
      break;
      case 'I': Dopreda_doprava();
      break;
      case 'H': Dostadi_doleva();
      break;
      case 'J': Dostadi_doprava();
      break;
    }
  }
}

```

Fig. 12. Bluetooth control software

The proposed mobile robot is created in two pieces (Fig. 13) so far and it is possible to assemble a team of robots to create an application for robotic football. This application is intended for didactic purposes for practical exercises of students and also for promotional purposes for initiating children's interest in studying technical fields of secondary schools and technical universities. The created robot is an open platform with the possibility of modification and further addition by students in practical training.



Fig. 13. Use of didactic models of robots for game purposes

**Conclusions.** The mechanical and electronic part of the mobile robot is completely demountable, and the building of the robot is left entirely for students, who thus train their creativity and innovation in the construction of the robot. Thus, the theoretical knowledge that students have acquired, and they have the opportunity to be supported by practical experience and skills. The development of practical skills and experience is very important for the application of students in practice. The development of these competencies is key to the development of students' creative personalities and means improving the level of graduates.

**Acknowledgments.** The authors would like to thank the Slovak Grant Agency project KEGA 030TUKE-4/2020 “Transfer of knowledge from the field of industrial automation and robotics to teaching in the field of Mechatronics”.

### References

1. Lopez-Rodriguez, F. M., Cuesta, F. (2016). Andruino-A1: Low-Cost Educational Mobile Robot Based on Android and Arduino. *J Intell Robot Syst* (2016) 81. pages 63–76. DOI 10.1007/s10846-015-0227-x.
2. Jorge Solis; Ryu Nakadate; Yuki Yoshimura; Yuichiro Hama; Atsuo Takanishi (2009). Development of the two-wheeled inverted pendulum type mobile robot WV-2R for educational purposes. 2009 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Date of Conference: 10-15 Oct. 2009. Conference Location: St. Louis, MO, USA. DOI: 10.1109/IROS.2009.5354088.
3. Francisco Bellas, Martin Naya, Gervasio Varela, Luis Llamas, Moises Bautista, Abraham Prieto and Richard J. Duro. Robobo: The Next Generation of Educational Robot. *ROBOT 2017: Third Iberian Robotics Conference, Advances in Intelligent Systems and Computing* 694, pp. 359-369. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-70836-2\\_30](https://doi.org/10.1007/978-3-319-70836-2_30).
4. Jánoš, R., & Murali, S. (2021). DESIGN OF BALL COLLECTING ROBOT. *Technical Sciences and Technology*, (2(24), 49–54. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2\(24\)-49-54](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2021-2(24)-49-54).

Отримано 17.06.2021

УДК 004.4

### Патрик Закуція<sup>1</sup>, Михал Келемен<sup>2</sup>

<sup>1</sup>інженер, факультет машинобудування  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)  
E-mail: [patrik.zakucia@student.tuke.sk](mailto:patrik.zakucia@student.tuke.sk)

<sup>2</sup>проф. інж., доктор філософії, факультет машинобудування  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

E-mail: [michal.kelemen@tuke.sk](mailto:michal.kelemen@tuke.sk). ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-2274-3828>. ResearcherID: J-2845-2013.

### ОСВІТНІЙ ДВОКОЛІСНИЙ МОБІЛЬНИЙ РОБОТ

*Тема статті – розробка дидактичної моделі колісного робота для навчального процесу старшокласників і студентів ЗВО, де необхідно практичне навчання.*

*Нині на ринку немає дешевих модульних комплектів мобільних роботів, які можна було б використовувати в дидактичних цілях.*

*Дидактичні моделі роботів розроблені в [1-4]. Ці роботи використовують систему управління телеоператора. Однак розроблена модель не дозволяє змінювати підключення електричних частин, але містить фіксовану друковану плату.*

*Алгоритм автономної навігації мобільного робота й алгоритм відображення робочого простору мобільного робота в цій роботі не наважувалися.*

*Вирішується питання про створення шасі, а також розглядається можливість управління системою телеоператора, що створює простір для використання робота та в рекламних цілях для використання робота як ігрового додатка.*

*Модель робота також створює можливість подальшої творчої діяльності студентів у її подальшому розвитку та додаванні інших модулів та пристроїв. Метою є підтримка творчості учнів та підтримка їхнього досвіду та навичок у цій галузі.*

*Механічна та електронна частини мобільного робота є повністю розбірними, і створення робота повністю надається студентам, які, таким чином, тренують свої творчі здібності та інновації в конструкції робота. Таким чином, теоретичні знання, які придбали студенти, і вони мають можливість підкріплюватися практичним досвідом і навичками.*

**Ключові слова:** мобільний робот; пульт дистанційного управління; Ардуіно.

Рис.: 13. Бібл.: 4.

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-125-137

УДК 004.41.657

**Валерій Лахно<sup>1</sup>, Андрій Блозва<sup>2</sup>, Єгор Часновський<sup>3</sup>,  
Олена Криворучко<sup>4</sup>, Альона Десятко<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна)

E-mail: [valss21@ukr.net](mailto:valss21@ukr.net). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9695-4543>

<sup>2</sup>кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна)

E-mail: [andriy.blozva@nubip.edu.ua](mailto:andriy.blozva@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4377-0916>

<sup>3</sup>аспірант кафедри комп'ютерних систем та мереж  
Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна)

E-mail: [egor.chasnovskii@gmail.com](mailto:egor.chasnovskii@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6360-4640>

<sup>4</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки  
Київський національний торговельно-економічний університет (Київ, Україна)

E-mail: [ev\\_kryvoruchko@ukr.net](mailto:ev_kryvoruchko@ukr.net). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7661-9227>

<sup>5</sup>доктор філософії за спеціальністю комп'ютерні науки,  
доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки  
Київський національний торговельно-економічний університет (Київ, Україна)

E-mail: [desyatko@knute.edu.ua](mailto:desyatko@knute.edu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2284-3218>

### АУДИТ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРО-НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ

*У статті запропоновано заходи щодо вдосконалення процедур аудиту інформаційної безпеки (АІБ) для різних об'єктів інформатизації (ОБІ). Показано, що оцінку рівня ступеня інформаційної безпеки (ІБ) для ОБІ доцільно проводити на основі оцінювання результативності безлічі критеріїв методу аналізу ієрархії (МАІ). При цьому така оцінка ступеня ІБ і всі пов'язані з нею процедури аудиту АІБ, найбільш ефективні для багатостороннього оцінювання ІБ ОБІ. Запропоновано модифікований метод аналізу ієрархій, на основі застосування апарату теорії нечітких множин і нейронних мереж. Цей метод дає можливість менеджменту приймати обґрунтовані управлінські рішення у сфері ІБ ОБІ.*

**Ключові слова:** аудит інформаційної безпеки; об'єкт інформатизації; метод аналізу ієрархій; інтелектуальна інформаційна система; нейронна мережа; нечітка логіка.

*Рис.: 4. Табл.: 1. Бібл.: 24.*

**Актуальність теми дослідження.** Динаміка збільшення кількості та складності кібератак на різні об'єкти інформатизації (ОБІ) тільки за останні кілька років [1; 2] показує, що, незважаючи на всі зусилля з боку захисту протиставити атакуючим дедалі більше технічно досконалі апаратно-програмні засоби інформаційної безпеки (ІБ) і донині не втрачає актуальності проблема отримання поточних і прогнозних оцінок рівня ІБ ОБІ. Це завдання особливо стало актуальним для об'єктів критично важливої інфраструктури (КВІС) держави [3]. Адже несанкціоноване втручання в комп'ютерні системи (КС) може викликати збої в бізнес-процесах і відбитися на безпеці людей. Наприклад, навіть короточасна відмова КС, зокрема, підприємств комунальної сфери, здатна викликати перебої в постачаннях електроенергії, води, перебої з постачанням у торговельних мережах і т. ін.

Чим складніша структура ОБІ і чим більш складними є інформаційні технології (ІТ) тим складніше побудувати для них систему управління їх інформаційною безпекою (СУІБ), яка відповідає сучасним вимогам. Безліч важливих об'єктів інформатизації апріорі потребує мати сучасну систему управління, зокрема, у питаннях, що стосуються ІБ. Подібного типу системи сьогодні стали невід'ємною частиною систем менеджменту (СМ). Відповідно, інтеграція подібних СМ у завдання забезпечення ІБ ОБІ передбачає необхідність побудови системи проведення періодичного аудиту ступеня захищеності ОБІ. Це, зокрема, можливо шляхом експертного або комп'ютерного отримання оцінок (метрик) ІБ у СУІБ.

Для того щоб побудувати ефективну СУІБ, необхідно дотримуватися такого алгоритму дій:

- по-перше, проектування СУІБ ОБІ має виконуватися на основі ризик-орієнтованих стандартів;

- по-друге, формування вимог до бізнес-процесів ОБІ з погляду забезпечення ІБ, має виконуватися на основі використання чітких вимірних метрик ІБ;

- по-третє, завдання аудиту ІБ ОБІ повинно розглядатися комплексно, і в такій постановці цього завдання без комп'ютерної підтримки прийняття рішень обійтися складно.

Все вищевикладене зумовлює необхідність проведення нових досліджень у завданнях підвищення ефективності процедур аудиту інформаційної безпеки (АІБ) на основі комплексного застосування інтелектуальних систем.

**Постановка проблеми.** Наукову проблему цього дослідження можна сформулювати таким чином: «необхідно подолати суперечності між станом теорії інформаційної безпеки, в тій частині, яка регламентує вимоги до проведення аудитів ІБ ОБІ і залежними від траєкторії кіберзагроз сформованими практиками забезпечення ІБ ОБІ». Рішення зазначеної проблеми, зокрема, передбачає необхідність перегляду існуючих статичних моделей управління ІБ. Слід наголосити на одній із підзадач як необхідність вдосконалення системи АІБ. Отже, процедура прийняття рішень особою, яка приймає рішення при фіксованому переліку альтернатив, передбачає необхідність створення нових підходів до процедур аудиту ІБ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі проведення аудиту ІБ для різних ОБІ присвячено досить багато робіт, з-поміж необхідно згадати ті, що стали класичним роботою для вирішення завдань АУІ [4; 5].

У роботі [6] показана важливість аналізу інформаційних потоків для коректного проведення процедур аудиту в інформаційних системах ОБІ. Але автор не розглядає потенціал застосування інтелектуальних систем для підвищення якості процедур аудиту ІБ.

У роботі [7] проведено аналіз взаємозв'язку процедур внутрішнього аудиту ІБ і зовнішнього аудиту. Однак авторами не взято до уваги постійний розвиток систем захисту ІБ. Зауважимо, що впровадження в контури ІБ новітніх систем ІБ, здатне змінити перелік базових метрик ІБ, прийнятих в організації.

У [8] аналізуються особливості проведення аудиту ІБ для погроз «нульового дня» (zero-day). Зокрема, авторами відзначено, що постачальники засобів ІБ зазвичай можуть запропонувати лише варіант постійного розвитку та вдосконалення технічних засобів захисту інформації (ЗЗІ).

У [9; 10] авторами також відслідковано, що, хоча постійне вдосконалення ЗЗІ необхідно, однак це «вигідно» переважно виробникам ЗЗІ. І лише одне вдосконалення ЗЗІ не здатна самостійно вирішити проблему постійного протистояння ЗЗІ і загроз ІБ. Однак, як показано в [11; 12], якщо сторона захисту стикається з цільовою (таргетованою) атакою, то покладатися лише на ЗЗІ буде помилкою.

У зв'язку з цим багатьма експертами [8; 13; 14] наголошується на необхідності застосування не лише технічних підходів (використання ЗЗІ) для протидії кібернетичним загрозам, але і впровадження комбінованих методів. Авторами детально не розкрито поняття комбінованих методів, але згадується необхідність їх побудови на базі сімейства стандартів ISO серії 27001 і 19011 [15-19].

Відзначимо, що методологія проведення аудиту ІБ добре відома й відпрацьована фахівцями, але поки не до кінця відпрацьованими є питання, що стосуються впровадження в процедури аудиту інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень (ІСППР). При цьому зростаючі вимоги до якості проведення процедур аудиту ІБ диктують необхідність задіяння потенціалу ІСППР у ході оперативного реагування на виявлені загрози в інформаційних системах (ІС). А це робить завдання підвищення ступеня захищеності, а також отримання поточних і прогностичних оцінок ІБ ОБІ релевантним.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У дослідженнях та публікаціях, які розглядались, не було виявлено потенціал застосування інтелектуальних систем для підвищення якості процедур аудиту ІБ та не прийнято до уваги постійний розвиток систем захисту ІБ; питання можливості зміни переліку базових метрик ІБ, прийнятих в організації, при впровадженні в контури ІБ новітніх систем ІБ; також оглянутій за тематикою літературі детально не розкриті поняття комбінованих методів, хоч згадується необхідність їх побудови на базі сімейства стандартів ISO серії 27001 і 19011 [15-19].

**Постановка завдання.** При вирішенні завдання підвищення ступеня захищеності, а також отримання поточної та прогнозової оцінки ІБ ОБІ доцільно застосовувати точні чисельні оцінки – метрики ІБ [4; 5].

Цей вектор дослідження узгоджується з основними положеннями «базового» стандарту системи управління інформаційною безпекою 27004: 2009 [5]. Як джерела даних у ході реалізації процедур аудиту ІБ (як внутрішнього, так і зовнішнього) можуть бути використані такі відомості [6]:

- результати аналізу та оцінки ризиків для ІБ ОБІ;
- звіти попередніх процедур АІБ;
- журнали реєстрації інцидентів ІБ
- звіти систем виявлення вторгнень або/і такої категорії ПО, як Security information and event management (SIEM);
- повідомлення персоналу про інциденти ІБ;
- результати, отримані в ході тестування функціональних підсистем КС ОБІ;
- результати, отримані в ході тренінгів по ІБ персоналу ОБІ;
- та ін.

Таким чином, очевидна постановка завдань дослідження:

- розвиток методу СУІБ для проведення аудиту ІБ ОБІ й отримання чисельних поточних і/або прогнозних оцінок ступеня його захищеності в умовах динамічного протистояння з атакуючої стороною;
- розробка та апробація інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, спрямованих на збільшення ступеня ІБ з можливістю синтезу чисельної оцінки результативності аудиту ІБ ОБІ.

**Викладення основного матеріалу.**

**Методи та моделі.**

При розробці програми проведення аудиту ІБ (далі ПАІБ) не всі співвідношення між зв'язками АІБ, можуть враховуватися в конкретній ситуації. Це насамперед зумовлено відсутністю необхідної інформації.

При проведенні аудиту ІБ великих компаній або підприємств об'єкт аудиту цілком розглянути повною мірою досить складно. Аудиторам доцільніше вибрати найбільш важливі інформативні свідчення аудиту (далі СА) або метрики ІБ. Відібрані метрики і СА матимуть більшу значущість і при цьому вартість їх отримання буде невисока.

Зазвичай для того щоб побудувати модель об'єкта АІБ (далі ОАІБ), доцільно задіяти вагові коефіцієнти значущості доказів аудиту.

Як показала реальна практика проведення аудитів ІБ, облік значущості СА є складним завданням. При цьому важливим фактором є досвід аудитора і передусім особи, що відповідає за складання програми АІБ і системний аналіз одержуваних у процесі аудиту результатів. Не коректна постановка вихідних завдань АІБ може звести до нуля головну мету проведеного АІБ ОБІ або дати недостовірні результати. Усе вищезазначене обумовлює ефективність комбінації експертних і математичних методів обробки отриманих експертних оцінок. Як показав аналіз літературних джерел [10; 20], для вирішення зазначених вище завдань можуть застосовуватися методи парних порівнянь; бальних оцінок; векторів переваг; аналізу ієрархій (МАІ) та ін. Досить докладний аналіз результативності застосування цих методів представлений у [20].

Враховуючи, що відбір метрик ІБ для кожного ОБІ має свої особливості, які зумовлені викликами галузі ОБІ, так і ступенем його критичності. Саме це далі формалізує типову задачу відбору метрик АІБ. При цьому пропонується керуватися таким алгоритмом (рис. 1).

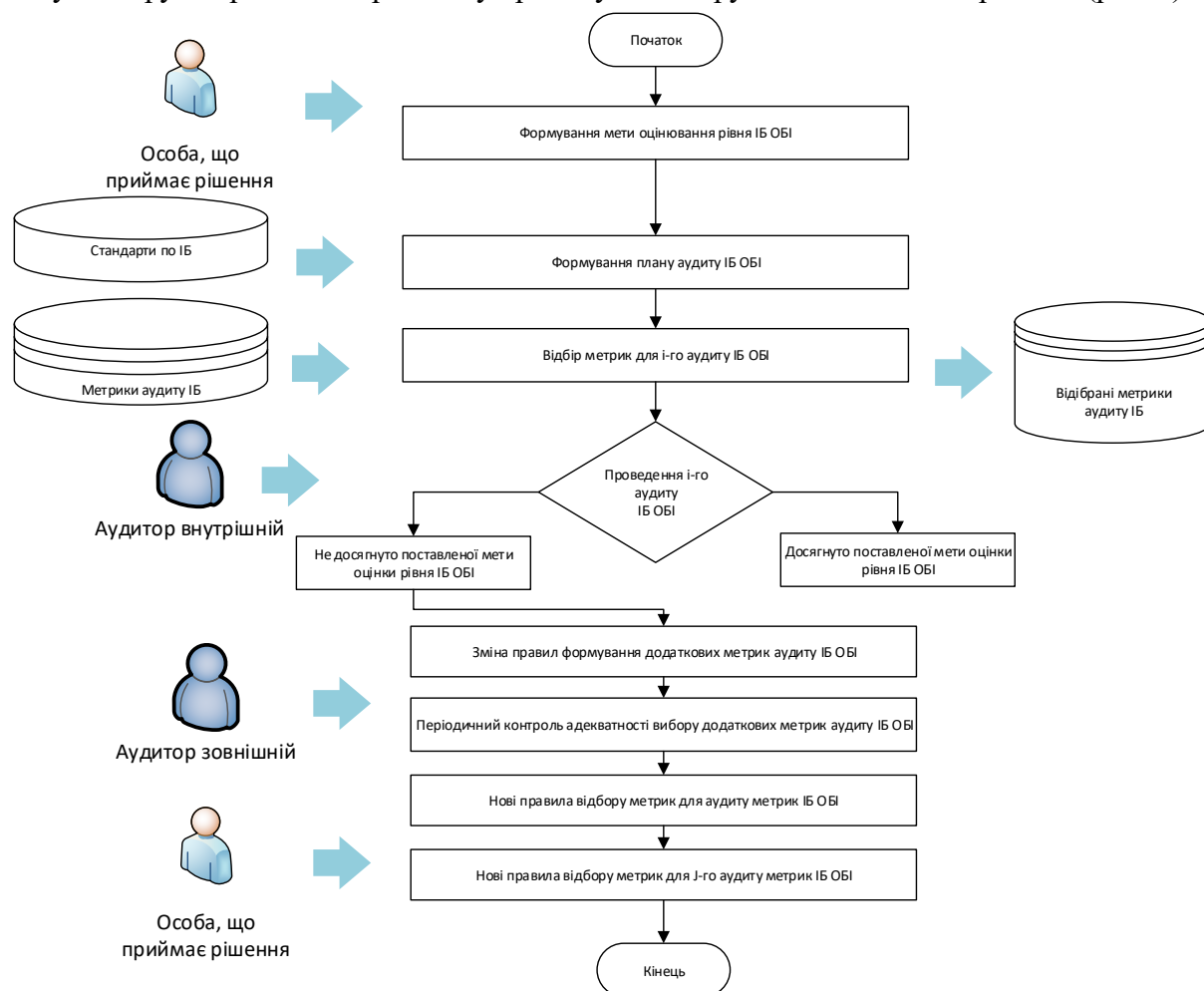


Рис. 1. Блок-схема алгоритму відбору індивідуальних критеріїв (метрик ІБ)

У модифікованому алгоритмі проведення аудиту ІБ, в порівнянні з базовими процедурами, необхідно брати до уваги такі нові обставини:

1. Слід орієнтуватися насамперед на відібрані аудитором пріоритетні метрики ІБ. Ці відібрані аудитором метрики могли раніше не зустрічатися протягом попереднього циклу процедури аудиту ІБ ОБІ;

2. Слід контролювати відхилення, що з'явилися, в якісних характеристиках відібраної метрики ІБ.

3. Слід формувати правила відбору і заміни раніше відібраних метрик ІБ, наприклад, керуючись результатами попередніх аудитів ІБ, або у зв'язку зі зміною траєкторії загроз для інформаційних систем ОБІ.

Побудова ієрархії метрик ІБ у ході аудиту така:

Етап 1. Визначаємо підцілі АІБ. Це можуть бути приватні задачі, наприклад:

- Оцінити доступність, конфіденційність, цілісність інформації в ІС.
- Обґрунтувати безлічі СА, які включені в програму АІБ (ПАІБ).
- Вивести відповідні аудиторські докази, які передбачені ПАІБ. Свідоцтва АІБ здебільшого розраховані аналітиками ІБ.



Етап 2. Відбираємо чинники, які важливі для 2-го рівня ієрархії ПАІБ.

- на цьому етапі збирають об'єктивні свідчення АІБ. До таких можна, наприклад, віднести, важливі з погляду критеріїв аудиту факти;
- фокусують сили і засоби АІБ. Наприклад, сюди відносяться аудиторські групи, окремі аудитори ІБ та ін.

Побудова ієрархії метрик ІБ під час ході аудиту наступна:

Етап 1. Визначаємо підцілі АІБ. Це можуть бути приватні задачі, наприклад:

- оцінити доступність, конфіденційність, цілісність інформації в ІС;
- обґрунтувати безлічі СА, які включені в програму АІБ (ПАІБ);
- вивести відповідні аудиторські докази, які передбачені ПАІБ. Свідоцтва АІБ як правило розраховані аналітиками ІБ.

Етап 2. Відбираємо чинники, які важливі для 2-го рівня ієрархії ПАІБ. На цьому етапі:

- збирають об'єктивні свідчення АІБ. До таких можна, наприклад, віднести, важливі з точки зору критеріїв аудиту факти;
- фокусують сили і засоби АІБ. Наприклад, сюди відносяться аудиторські групи, окремі аудитори ІБ та ін.

Зауважимо, що для кожного ОБІ завдання аудиту ІБ має свою специфіку, яка визначається ступенем критичності інформаційних процесів у бізнес-процесах організації.

З урахуванням публікацій [23] модифікувати БАІ за рахунок додаткового застосування таких кроків:

Крок 1. Оцінюємо стійкість локальних ранжувань на основі векторів змін в елементах матриць парних порівнянь.

Крок 2. Знаходимо експертні оцінки парних порівнянь, які найбільшою мірою впливають на зміну локальних ранжувань альтернатив рішень і зміна рівнів узгодженості безлічі оцінок.

Крок 3. Оцінюємо чутливість глобального ранжування альтернатив рішень до зміни ваги елементів ієрархії.

Крок 4. Знаходимо найбільш чутливі і стійкі елементи для кожного рівня ієрархії.

Фактично МАІ необхідний на етапі розрахунку проміжних показників, і визначення остаточного рангу об'єктів. Це аналогічно процедурам завдання функцій приналежності нечітких множин, що використовуються для опису об'єктів спостереження і вимог до них.

У МАІ для того щоб знайти ранг об'єкта застосовують формулу:

$$p_i = \sum_{j=1}^n g_j \cdot v_{ij}, \quad (1)$$

де  $n$  – кількість критеріїв (метрик ІБ);  $g_j$  – показник важливості критерію (метрики ІБ);  $v_{ij}$  – показник переваги  $i$  – го об'єкта по  $j$  – му критерію.

Нескладно помітити певну схожість із найпростішою моделлю односпрямованої нейронної мережі. У теорії нейронних мереж для цього застосовують таку формулу [24]:

$$y = f\left(\sum_{i=0}^N w_i \cdot u_i\right), \quad (2)$$

де  $N$  – кількість входів нейрона;  $w_0$  – порогове значення;  $u_0 = -1$ ,  $u_i$  – вхідний сигнал  $i$  – го нейрона;  $w_i$  – синаптичні ваги входів;  $y$  – вихідний сигнал нейрона.

Очевидна схожість вищенаведених формул. У цьому випадку показник переваги об'єкта з різних метрик ІБ вимогам ставиться у відповідність до синаптичних ваг входів нейрона. Тоді процес обчислення параметрів переваг об'єкта за різними вимогами виконує функції навчання нейронів.

З огляду на специфіку завдання проведення аудиту ІБ, пропонуються такі зміни для модифікації БАІ. Це дозволяє не тільки врахувати специфіку предметної області проведення АІБ ОБІ, а й подальшої адаптації пропонованих змін для практичної реалізації інтелектуальної СППР з використанням методів об'єктноорієнтованого проектування.

По-перше, введемо обмеження на вихідні дані. Це обумовлено особливостями організації процедури АІБ ОБІ. Безліч критеріїв оцінки ступеня кібербезпеки ОБІ, розділимо на дві частини. Це, відповідно, загальні та індивідуальні критерії (метрики ІБ).

Загальні критерії – це критерії, які ставляться до будь-яких ОБІ при проведенні АІБ. Ця множина не залежить від призначення і функціоналу, які реалізовані інформаційними системами ОБІ. Вважаємо, що безліч загальних критеріїв, наприклад, надійність, вартість, є обмеженими і постійними.

Одночасно з цим, кожна процедура АІБ ОБІ повинна враховувати його специфіку. Враховуємо ці індивідуальні критерії (метрики ІБ) в окремій множині. Індивідуальні критерії важливі виключно для конкретного ОБІ. Якщо хоча б один критеріїв не виконано, то стан захисту ОБІ не задовольняє необхідний рівень ІБ.

По-друге, у процесі модифікації БАІ зроблено таке припущення: порівняльна оцінка важливості загальних критеріїв може бути виконана за допомогою класичного експертного оцінювання. У цій ситуації немає необхідності вдаватися до задіяння парних порівнянь БАІ. Це стає можливим у силу тієї обставини, що чисельність загальних критеріїв щодо забезпечення ІБ ОБІ порівняно невелика. Як показала практика, для більшості практик забезпечення ІБ, вирішальними стають відібрані чотири – п'ять критеріїв (метрик ІБ).

По-третє, внесемо корективи в алгоритм обчислення синаптичних ваг входів нейронів. Значення синаптичних ваг входів нейронів, які відповідають кожному з порівнювальних об'єктів, розраховуємо, використовуючи систему нечітких правил типу IF-THEN. Правила побудовані на основі застосування методу Такагі-Сугено. Як вихідні дані підійнятої системи використовуємо критерії ІБ ОБІ, які відповідають цьому нейрону. Крім того, беремо до уваги індивідуальні критерії ІБ ОБІ.

Прийнято такі вихідні дані для модифікованого БАІ, який можна використовувати в процедурах аудиту ІБ ОБІ:

- 1) множина  $\{Y_i\}, i \in [1, n]$ , яка містить експертні оцінки важливості кожної з метрик ІБ,  $n$  – кількість критеріїв (метрик ІБ);
- 2) множина  $\{Z_j\}, j \in [1, m]$ , яка містить індивідуальні критерії (метрики ІБ) ОБІ,  $m$  – кількість індивідуальних критеріїв.

Виконання порівняльної оцінки важливості загальних критеріїв передбачає наступні етапи:

Етап 1. Керуючись необхідним рівнем ІБ ОБІ, експерт представляє важливість усіх загальних критеріїв ІБ у вигляді множини  $\{Y_i\}, i \in [1, n]$ , наприклад, для  $Y \in [1, 0]$ , тут «0» відповідає ситуації, коли відсутні вимоги до ІБ об'єкта аудиту, а «10» – максимальна важливість критерію (за аналогією з МАІ Т. Сааті).

Етап 2. Перетворюємо множину  $\{Y_i\}$  у множину  $\{u_i\}$ . Перетворення реалізуємо за рахунок нормалізації елементів  $\{Y_i\}$  на інтервал  $[0, 1]$ :

$$u_i = \frac{Y_i}{\sum_{j=1}^n Y_j}. \quad (3)$$

Отримуємо множину  $\{u_i\}$ , яка буде містити порівняльні показники важливості загальних критеріїв ІБ, які аналізуються під час проведення АІБ ОБІ.

Нейронна мережа (НМ), яка використовується у ході обчислення рангів об'єктів аудиту, буде містити кількість нейронів  $h$ , що дорівнює числу об'єктів  $l$ , потенційно прийнятних у контурах захисту інформації та кібербезпеки ОБІ. Кожен із нейронів володіє кількістю входів, що дорівнює кількості загальних вимог  $n$ . На виході нейронів буде формуватися значення, яке і визначить ранг відповідного йому об'єкта аудиту.

База нечітких правил (БНП) відбору індивідуальних метрик аудиту ІБ, що дозволяє розрахувати синаптичні ваги входів кожного з нейронів, буде включати правила у вигляді:

$$\{R^k\}: IF (x_k \text{ this } A_k) THEN w_k = c_k, \quad (4)$$

$$w_i = \frac{\sum_{k=1}^K \mu_{A_k}(x_k) \cdot w_k}{\sum_{k=1}^K \mu_{A_k}(x_k)} \cdot \prod_{j=1}^m \mu_{z_j}(z_j), \quad (5)$$

де  $\{R^k\}$ ,  $k \in [1, K]$  – БНП, яка містить нечітких правил;

$c_k$ ,  $k \in [1, K]$  – константа, яка залежить від конкретного правила  $c_k \in (0,10]$ ;

$A_k = \{x_k, \mu_{A_k}(x_k)\}$ ,  $k \in [1, K]$  – нечіткі множини, які задані функціями належності  $\mu_{A_k}(x_k)$  на безлічі можливих значень характеристик об'єкта аудиту ІБ, і відповідають загальним метрикам ІБ;

$x_k$ ,  $k \in [1, K]$  – значення змінних, які характеризують властивості об'єкта аудиту ІБ, і відповідають реалізації загальних критеріїв по ІБ ОБІ;

$z = \{z_j, \mu_{z_j}(z_j)\}$ ,  $j \in [1, m]$  – класична множина, що задається функціями належності  $\mu_{z_j}(z_j)$ , рівними 0 або 1. Ця множина описує значення властивостей об'єкта аудиту ІБ, які відповідають за реалізацію індивідуальних критеріїв (метрик ІБ);

$z_j$ ,  $j \in [1, m]$  – змінні, які характеризують властивості об'єкта аудиту ІБ, відповідно до індивідуальних критеріїв;

$i$ ,  $i \in [1, n]$  – номер входу відповідного нейрона.

Функції, розташовані в частині з оператором правил *THEN*, визначаємо як константи. Тоді, ці функції будуть приймати максимальні значення у випадках, якщо властивості об'єктів аудиту ІБ відповідають нечітким множинам. До таких нечітких множин можна віднести, наприклад, такі: інформація про результативність «миттєвих аудитів» ІБ; інформація про результативність аудитів усіх типів; інформація про інциденти ІБ; інформація про нові уподобання в політиці ІБ особи, яка приймає рішення і т. ін. У процесі досліджень було встановлено, що задіяння для лінгвістичної оцінки властивостей об'єкта аудиту ІБ лише п'яти, шести термів дозволить оцінювати об'єкт з досить великим ступенем. При цьому ми зберігаємо простоту й наочність моделі, досконалості класичний БАІ.

Множину індивідуальних критеріїв АІБ  $Z$  задаємо на множині групових та індивідуальних властивостей всіх об'єктів, які входять в контури ІБ ОБІ. Функція належності  $\mu_{z_j}(z_j)$  множини  $Z$  буде дорівнює одиниці для тих властивостей об'єктів АІБ, які забезпечують реалізацію індивідуальних критеріїв. Відповідно, нульове значення буде в разі всіх інших властивостей.

Множини  $Z$  індивідуальних критеріїв, які ставляться у відповідність окремим об'єктам АІБ, являють собою підмножини множини  $Z$ . У множину, яка відповідає конкретному об'єкту аудиту ІБ, входять лише ті індивідуальні критерії АІБ, які можуть бути пред'явлені до даного об'єкта контурів ІБ ОБІ.

У підсумку, модифікований БАІ можна концептуально реалізувати у вигляді такої нейро-нечіткої системи (рис. 2). Така схема має на увазі об'єднання нейронної мережі, у якій здійснюються порівняння об'єктів контурів ІБ, а також і нечіткої системи, яка заснована на застосуванні бази нечітких правил, описаних вище.

Нечітка система відповідно до розробленої схеми, буде здійснювати, обчислення си-наптичних ваг  $w_i$  входів нейронів. При цьому враховуються і індивідуальні критерії (табл. 1), які відібрані для процедур аудиту ІБ конкретного ОБІ. На вхід нейро-нечіткої системи будуть подаватися в експертні оцінки важливості критеріїв для конкретного ОБІ, а на виході зчитуються ранги  $p_1, \dots, p_n$  об'єктів контурів ІБ.

Таблиця 1

Приклад формування загальних і індивідуальних метрик при проведенні аудиту ІБ

Загальні метрики ІБ	
1	Метрики, що характеризують хости і їх зв'язність
2	Відсоток критичних додатків
3	Середній час на усунення вразливості
...	....
N	Загальний виграш і Очікувані річні втрати
Індивідуальні метрики ІБ (відібрані для аудиту ІБ для конкретного ОБІ)	
1	Ймовірна міра вразливості, що показує наскільки ймовірне виникнення уразливості нульового дня за певний період часу
2	Забезпечення максимальної повноти переліку інформаційних активів, в аспекті додаткової інформації про загрози ІБ
3	Визначення ступеня реалізації заходів (засобів) забезпечення ІБ
...	....
M	Встановлений бізнес ризик

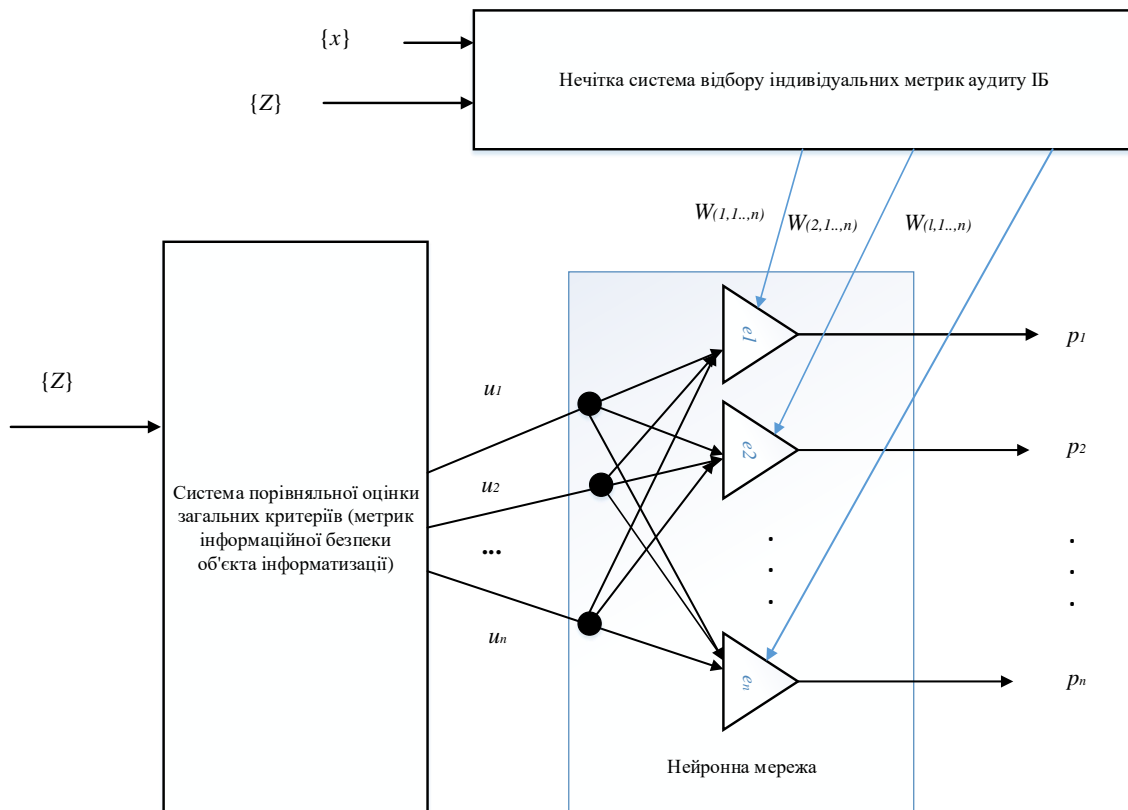


Рис. 2. Концептуальна структура нейро-нечіткої системи для модифікованого методу аналізу ієрархій

**Програмна реалізація інтелектуальної СППР для аудиту інформаційної безпеки на основі застосування нейро-нечіткої системи**

Описаний модифікований БАІ реалізований в системі Visual Studio 2019 (мова програмування C #) у вигляді інтелектуальної СППР для підвищення ефективності процедур аудиту ІБ (Рис. 3). Інтелектуальна СППР забезпечує введення індивідуальних критеріїв і експертних оцінок важливості загальних критеріїв, які перевіряються в ході аудиту ІБ ОБІ. Результати порівняння об'єктів представляються у вигляді графіка (рис. 4).

В основу досліджень, виконаних у межах цієї статті, були покладені ідеї, що дозволили гармонійно об'єднати теорію нейронних мереж і нечітких множин, методи прийняття рішень і метод аналізу ієрархій для проведення і вдосконалення процедур аудиту інформаційної безпеки різних об'єктів інформатизації.

Як видно на представленому графіку (рис. 4), застосування модифікованого БАІ дозволило отримати графік поточного стану ІБ обстеженого об'єкта інформатизації (лінія блакитного кольору). Причому відібрані критерії ІБ приблизно на 25-30 % нижче від еталонних значень. Хоча при застосуванні класичного БАІ не дало таких розбіжностей. Метод апробований в ході виконання аудитів ІБ ряду підприємств України і Казахстану.

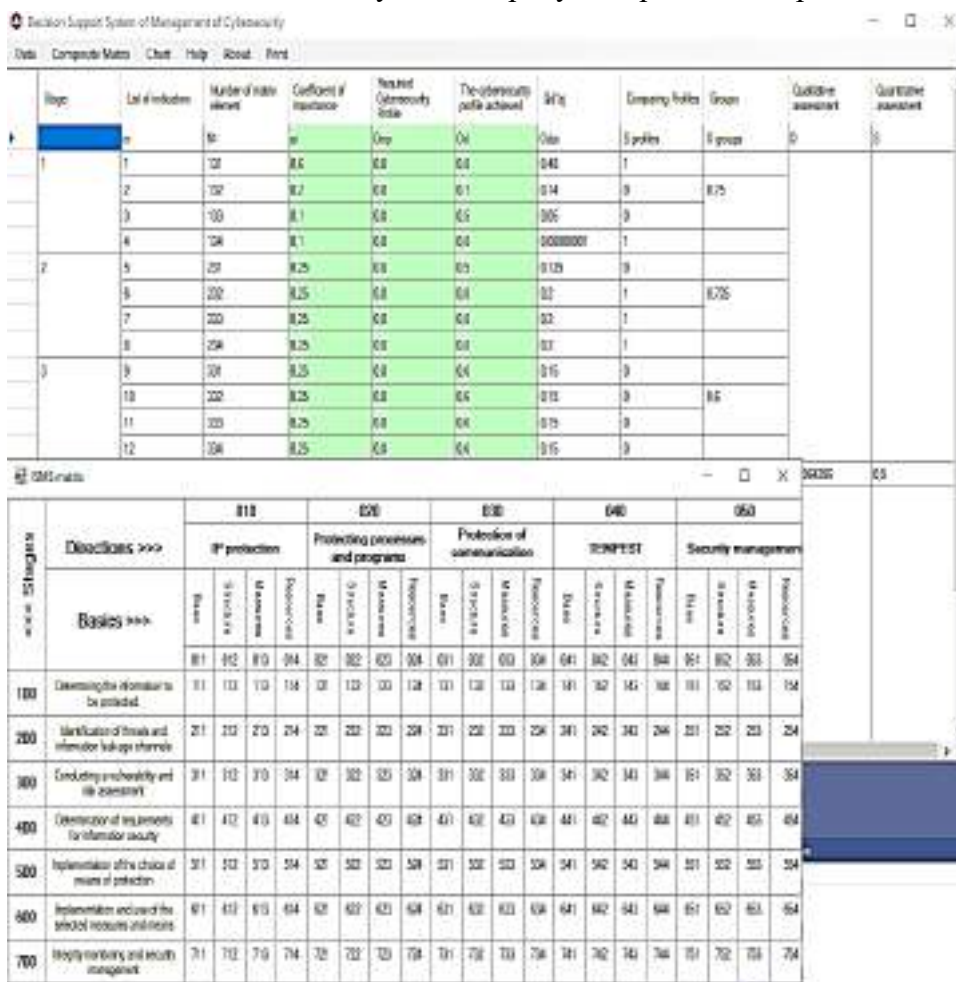


Рис. 3. Загальний вигляд інтелектуальної СППР для аудиту інформаційної безпеки на основі застосування нейро-нечіткої системи

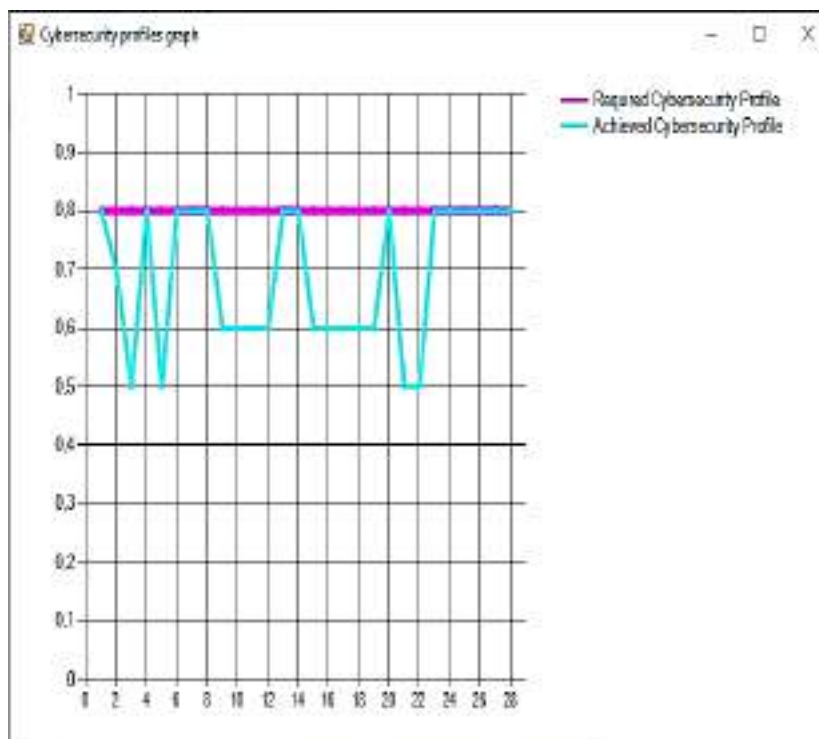


Рис. 4. Результати проведення аудиту ІБ ОБІ і зіставлення еталонних вимог до метрик ІБ і досягнутого рівня

**Висновки.** Проведені дослідження дозволяють зробити такі висновки:

1. Показано, що оцінку рівня ступеня інформаційної безпеки (ІБ) для об'єктів інформатизації (ОБІ) доцільно проводити на основі оцінювання результативності безлічі критеріїв методу аналізу ієрархій (МАІ). При цьому така оцінка ступеня ІБ і всі пов'язані з нею процедури аудиту ІБ (АІБ), найбільш ефективні для багатостороннього оцінювання ІБ ОБІ. Як метрики оцінювання можна використовувати як стандартні чисельні метрики ІБ, так і метрики, запропоновані експертами з ІБ і узгоджені з менеджментом ОБІ.

2. Запропоновано модифікований метод аналізу ієрархій, на основі застосування апарату теорії нечітких множин і нейронних мереж. Цей метод дає можливість менеджменту приймати обґрунтовані управлінські рішення у сфері ІБ ОБІ. Отримані рішення спрямовані на підвищення не тільки власне ІБ ОБІ, але й у кінцевому підсумку оптимізують систему управління ОБІ, скорочують витрати і підвищують ефективність бізнес-процесів ОБІ загалом. Представлений приклад розрахунку показників рівня ІБ умовного об'єкта інформатизації. Цей приклад ілюструє адекватність модифікованого МАІ.

3. Показано, що застосування математичного апарату МАІ і відповідного програмного забезпечення, зокрема, розробленої інтелектуальної системи, дозволяє підвищити ступінь достовірності результатів проведення комплексного аудиту ІБ ОБІ. Причому це твердження справедливо як для процедур внутрішнього АІБ ОБІ, так і для зовнішнього АІБ.

#### Список використаних джерел

1. Cyber security in the age of covid-19: A timeline and analysis of cyber-crime and cyber-attacks during the pandemic / H. S. Lallie, L. A. Shepherd, J. R. Nurse, A. Erola, G. Epiphaniou, C. Maple, X. Bellekens // Computers & Security. – 2021. – № 105. – Art. 102248.
2. Miao Y. Machine Learning Based Cyber Attacks Targeting on Controlled Information: A Survey [Electronic resource] / Miao Y., Chen C., Pan L., Han Q. L., Zhang J., Xiang, Y. – 2021. – Assed mode: arXiv preprint arXiv:2102.07969.
3. Weaponized AI for cyber attacks / M. M. Yamin, M. Ullah, H. Ullah, B. Katt // Journal of Information Security and Applications. – 2021. – Vol. 57. Art. 102722.

4. Golyash I. Improving the information security audit of enterprise using XML technologies / I. Golyash, S. Sachenko, S. Rippa // Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems. – 2011. – Vol. 2. – Pp. 795-798.
5. The influence of a good relationship between the internal audit and information security functions on information security outcomes / P. J. Steinbart, R. L. Raschke, G. Gal, W. N. Dilla // Accounting, Organizations and Society. – 2018. – № 71. – Pp. 15-29.
6. Griffiths P. Where next for information audit? / P. Griffiths // Business Information Review. – 2010. – Vol. 27(4). – Pp. 216-224.
7. The relationship between internal audit and information security: An exploratory investigation / P. J. Steinbart, R. L. Raschke, G. Gal, W. N. Dilla // International Journal of Accounting Information Systems. – 2012. – Vol. 13(3). – Pp. 228-243.
8. Kaur R. A survey on zero-day polymorphic worm detection techniques / R. Kaur, M. Singh // IEEE Communications Surveys & Tutorials. – 2014. – Vol. 16(3). – Pp. 1520-1549.
9. Steinbart P. J. Information security professionals' perceptions about the relationship between the information security and internal audit functions / P. J. Steinbart, R. L. Raschke, G. Gal, W. N. Dilla // Journal of Information Systems. – 2013. – Vol. 27(2). – Pp. 65-86.
10. Kayworth T. Effective information security requires a balance of social and technology factors / T. Kayworth, D. Whitten // MIS Quarterly executive. – 2010. – Vol. 9(3). – Pp. 2012-52.
11. Jarison, J., Morris, L., & Wilkinson, C. (2018). The future of cyber security in internal audit. Disponibil online la [www.crowe.com/-/media/Crowe/LLP/foliopdf/The-Future-of-Cybersecurity-in-IA-Risk-18000-002A-update.ashx](http://www.crowe.com/-/media/Crowe/LLP/foliopdf/The-Future-of-Cybersecurity-in-IA-Risk-18000-002A-update.ashx).
12. Suduc A. M. Audit for information systems security / A. M. Suduc, M. Bizoi, F. G. Filip // Informatica Economica. – 2010. – Vol. 14(1). – P. 43.
13. Herath H. S. IT security auditing: A performance evaluation decision model / H. S. Herath, T. C. Herath // Decision Support Systems. – 2014. – Vol. 57. – Pp. 54-63.
14. Methodology and ontology of expert system for information security audit / L. B. Atymtayeva, G. K. Bortsova, A. Inoue, K. T. Kozhakhmet // the 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems. – IEEE, 2012, November. – Pp. 238-243.
15. ISO/IEC 27001:2013. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements, International Organization for Standardization, 2013.
16. ISO/IEC 27000:2014. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Overview and vocabulary, International Organization for Standardization, 2014.
17. ISO/IEC 27004:2009. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Measurement, International Organization for Standardization, 2009.
18. ISO/IEC 27005:2011 Information technology. Security techniques. Information security management systems. International Organization for Standardization, 2011.
19. ISO 19011:2011. Guidelines for auditing management systems. International Organization for Standardization, 2011.
20. Воеводин В. А. Эталонная модель объекта аудита информационной безопасности / В. А. Воеводин // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. – 2019. – № 09. – С. 56-61.
21. Voevodin V. A. Method of The Study of Privacy Protection in Information / V. A. Voevodin // American Scientific Journal. – 2019. – Vol. 2, no. 32. – Pp. 47-51.
22. Voevodin V. A. Conceptual Model of Information Security Auditobject / V. A. Voevodin // Computational nanotechnology. – 2019. – No. 3. – Pp. 92-95.
23. Aguarón J. Consistency stability intervals for a judgement in AHP decision support systems / J. Aguarón, M.T. Escobar, J.M. Moreno-Jiménez // European Journal of Operational Research. – 2003. – Vol. 145, no. 2. – Pp. 382–393.
24. De Wilde P. Neural network models: theory and projects / P. De Wilde. – Springer Science & Business Media, 2013.

### References

1. Lallie, H. S., Shepherd, L. A., Nurse, J. R., Erola, A., Epiphaniou, G., Maple, C., & Bellekens, X. (2021). Cyber security in the age of covid-19: A timeline and analysis of cyber-crime and cyber-attacks during the pandemic. *Computers & Security, 105*, 102248.
2. Miao, Y., Chen, C., Pan, L., Han, Q. L., Zhang, J., & Xiang, Y. (2021). Machine Learning Based Cyber Attacks Targeting on Controlled Information: A Survey. arXiv preprint arXiv:2102.07969.
3. Yamin, M. M., Ullah, M., Ullah, H., & Katt, B. (2021). Weaponized AI for cyber attacks. *Journal of Information Security and Applications, 57*, 102722.
4. Golyash, I., Sachenko, S., & Rippa, S. (2011, September). Improving the information security audit of enterprise using XML technologies. In *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems* (Vol. 2, pp. 795-798). IEEE.
5. Steinbart, P. J., Raschke, R. L., Gal, G., & Dilla, W. N. (2018). The influence of a good relationship between the internal audit and information security functions on information security outcomes. *Accounting, Organizations and Society, 71*, 15-29.
6. Griffiths, P. (2010). Where next for information audit? *Business Information Review, 27*(4), 216-224.
7. Steinbart, P. J., Raschke, R. L., Gal, G., & Dilla, W. N. (2012). The relationship between internal audit and information security: An exploratory investigation. *International Journal of Accounting Information Systems, 13*(3), 228-243.
8. Kaur, R., & Singh, M. (2014). A survey on zero-day polymorphic worm detection techniques. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 16*(3), 1520-1549.
9. Steinbart, P. J., Raschke, R. L., Gal, G., & Dilla, W. N. (2013). Information security professionals' perceptions about the relationship between the information security and internal audit functions. *Journal of Information Systems, 27*(2), 65-86.
10. Kayworth, T., & Whitten, D. (2010). Effective information security requires a balance of social and technology factors. *MIS Quarterly executive, 9*(3), 2012-52.
11. Jarison, J., Morris, L., & Wilkinson, C. (2018). *The future of cyber security in internal audit*. Disponibil online la [www.crowe.com/-/media/Crowe/LLP/foliopdf/The-Future-of-Cybersecurity-in-IA-Risk-18000-002A-update.ashx](http://www.crowe.com/-/media/Crowe/LLP/foliopdf/The-Future-of-Cybersecurity-in-IA-Risk-18000-002A-update.ashx).
12. Suduc, A. M., Bizoi, M., & Filip, F. G. (2010). Audit for information systems security. *Informatica Economica, 14*(1), 43.
13. Herath, H. S., & Herath, T. C. (2014). IT security auditing: A performance evaluation decision model. *Decision Support Systems, 57*, 54-63.
14. Atymtayeva, L. B., Bortsova, G. K., Inoue, A., & Kozhakhmet, K. T. (2012, November). Methodology and ontology of expert system for information security audit. In *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems, and The 13th International Symposium on Advanced Intelligence Systems* (pp. 238-243). IEEE.
15. ISO/IEC 27001:2013. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Requirements, International Organization for Standardization. (2013).
16. ISO/IEC 27000:2014. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Overview and vocabulary, International Organization for Standardization. (2014).
17. ISO/IEC 27004:2009. Information technology. Security techniques. Information security management systems. Measurement, International Organization for Standardization. (2009).
18. ISO/IEC 27005:2011 Information technology. Security techniques. Information security management systems. International Organization for Standardization. (2011).
19. ISO 19011:2011. Guidelines for auditing management systems. International Organization for Standardization. (2011).
20. Voevodin, V. A. (2019). Etalonnaia model obekta audita informatsionnos bezopasnosti [Reference Model of an Information Security Audit Object]. *Modern Science: actual problems of theory and practice. Series of "Natural and Technical Sciences"*, (9), 56-60.
21. Voevodin, V. A. (2019). Method of The Study of Privacy Protection in Information. *American Scientific Journal, 2*(32), 47-51.
22. Voevodin, V. A. (2019). Conceptual Model of Information Security Auditobject. *Computational nanotechnology, 3*(3), 92-95.



23. Aguarón, J., Escobar, M.T., Moreno-Jiménez, J.M. (2003). Consistency stability intervals for a judgement in AHP decision support systems. *European Journal of Operational Research*, 145(2), 382–393.
24. De Wilde, P. (2013). *Neural network models: theory and projects*. Springer Science & Business Media.

Отримано 18.07.2021

UDC 004.41.657

**Valery Lakhno<sup>1</sup>, Andriy Blozva<sup>2</sup>, Yehor Chasnovskiy<sup>3</sup>,  
Olena Kryvoruchko<sup>4</sup>, Alona Desyatko<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Computer Systems and Networks  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [valss21@ukr.net](mailto:valss21@ukr.net). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9695-4543>

<sup>2</sup>PhD of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Computer Systems and Networks  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [andriy.blozva@nubip.edu.ua](mailto:andriy.blozva@nubip.edu.ua). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4377-0916>

<sup>3</sup>PhD Student of the Department of Computer Systems and Networks  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [egor.chasnovskii@gmail.com](mailto:egor.chasnovskii@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6360-4640>

<sup>4</sup>Doctor of Engineering, Professor, Head of the Department of Software Engineering and Cyber Security  
Kyiv National University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [ev\\_kryvoruchko@ukr.net](mailto:ev_kryvoruchko@ukr.net). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7661-9227>

<sup>5</sup>PhD in Computer Sciences, Associate Professor of the Department of Software Engineering and Cyber Security  
Kyiv National University of Trade and Economics (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [desyatko@knute.edu.ua](mailto:desyatko@knute.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2284-3218>

## INFORMATION SECURITY AUDIT BASED ON THE USE OF A NEURO-FUZZY SYSTEM

*The article proposes measures to improve information security (IS) audit procedures (ISA) for various information objects (OBI). It is shown that the assessment of the IS for OBI level should be carried out based on assessing the effectiveness of many criteria of the method of analysis of hierarchies (MAH). At the same time, such an assessment of the degree of IS and all related AIB audit procedures are most effective for the multilateral assessment of IS OBI. Both standard numerical IS metrics and metrics proposed by IS experts and agreed with OBI management can be used as assessment metrics. A modified method of analysis of hierarchies is proposed, based on the application of the apparatus of fuzzy set theory and neural networks. This method allows management to make informed management decisions in the field of IS OBI. The obtained solutions are aimed not only at improving the OBI IB itself, but also, ultimately, optimizing the OBI management system, reducing costs, and increasing the efficiency of OBI business processes in general. It is shown that the use of the mathematical apparatus of MAH and the corresponding software, in particular, the developed intelligent system, allows increasing the degree of reliability of the results of a comprehensive audit of IB OBI. Moreover, this statement is valid for the procedures of the internal ISA OBI, as well as for the external ISA.*

*It is shown that it is expedient to assess the level of IS for OBI based on assessing the effectiveness of many criteria of the method of analysis of hierarchies. The algorithm of formalization of a typical problem of selection of ISA metrics is shown. The stages of building a hierarchy of IS metrics during the audit are identified. Given the specifics of the task of conducting an IS audit, changes are proposed to modify the MAH, which allows not only to take into account the specifics of the subject area of ISA OBI, but also further adaptation of the proposed changes for practical implementation.*

**Keywords:** information security audit; object of informatization; hierarchy analysis method; intelligent information system; neural networks; fuzzy logic.

*Fig.: 4. Table: 1. References: 24.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-138-149

УДК 004.056.57-048.34

**Валерій Лахно<sup>1</sup>, Дмитро Касаткін<sup>2</sup>, Андрій Блозва<sup>3</sup>,  
Борис Гусєв<sup>4</sup>, Тетяна Осипова<sup>5</sup>, Юрій Матус<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна).

E-mail: [valss21@ukr.net](mailto:valss21@ukr.net). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9695-4543>

<sup>2</sup>кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна).

E-mail: [d.kasatkin@nubip.edu.ua](mailto:d.kasatkin@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2642-8908>

<sup>3</sup>кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна).

E-mail: [andriy.blozva@nubip.edu.ua](mailto:andriy.blozva@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4377-0916>

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна).

E-mail: [gusevbs@nubip.edu.ua](mailto:gusevbs@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1658-7822>

<sup>5</sup>кандидат педагогічних наук, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна).

E-mail: [t\\_osipova@nubip.edu.ua](mailto:t_osipova@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9199-3436>

<sup>6</sup>старший викладач кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки Національний університет біоресурсів та природокористування України (Київ, Україна).

E-mail: [umatus@nubip.edu.ua](mailto:umatus@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0974-4789>

## ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ ЗАСОБІВ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ ГЕНЕТИЧНОГО АЛГОРИТМУ

У статті запропоновано переглянути завдання визначення оптимального складу комплексів засобів захисту інформації (ЗЗІ) для узгоджено розподіленої обчислювальної системи (РОС) за допомогою модифікованого генетичного алгоритму (МГА). Як цільову функцію запропоновано критерій максимуму ймовірності успішної протидії ЗЗІ реалізації всіх цілей порушником. На відміну від існуючих підходів, запропонований у роботі МГА і відповідна цільова функція, реалізують кроссинговер для випадків, коли пари батьків підбираються виходячи із принципу «елітарності» однієї особи та «випадковості» другої. Показано, що реалізація МГА дозволила прискорити пошук оптимальних варіантів розміщення ЗЗІ по вузлах РОС у 7–15 разів.

**Ключові слова:** оптимізація; модифікований генетичний алгоритм; засоби захисту інформації; об'єкт інформатизації; розподілена обчислювальна система.

Рис.: 4. Бібл.: 25.

**Актуальність теми дослідження.** При проектуванні та реалізації комплексних систем захисту інформації (КСЗІ) для розподілених обчислювальних систем (РОС) різних об'єктів інформатизації (ОБІ) величезне значення мають методи автоматизованого проектування. Особливо ці методи важливі для проектування контурів інформаційної безпеки (ІБ) критично важливих комп'ютерних систем (КВКС), оскільки саме автоматизація та оптимізація розмірів різних засобів захисту інформації (ЗЗІ) за допомогою КВКС дозволяє створювати високоефективні системи ІБ у короткі терміни та за порівняно низьких витрат.

Тенденція зростання складності сценаріїв проведення успішних кібернетичних атак, спрямованих проти різних ОБІ, у тому числі КВКС, а також динамічна зміна ландшафту кібернетичних загроз, призводить до того, що необхідно постійно вдосконалювати КСЗІ [1; 2]. У свою чергу, це збільшує трудомісткість проектування як усієї КСЗІ загалом, так і окремих її складових. Фактично сторона захисту зіткнулася з ситуацією постійного зростання розмірності, що вирішується під час проектування КСЗІ задачі.

Таким чином, задача автоматизації проектування КСЗІ для РОС не втрачає своєї актуальності, а пошук методів, здатних скоротити кількість ітерацій у циклі проектування КСЗІ, продовжується.

**Постановка проблеми.** Актуальною науково-практичною проблемою в процесі проектування КСЗІ для РОС залишається автоматизація вибору складу апаратно-технічних засобів для різних контурів інформаційної безпеки. Для вирішення цієї проблеми необхідно продовжити пошук алгоритмів визначення оптимального складу комплексів засобів захисту інформації (ЗЗІ), наприклад, шляхом удосконалення генетичного алгоритму.

© Лахно В. А., Касаткін Д., Блозва А. І., Гусєв Б. С., Осипова Т. Ю., Матус Ю. В., 2021

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливу роль на етапах конструкторського проектування КСЗІ для РОС займають завдання оптимізації розміщення окремих ЗЗІ (а також методів захисту) по вузлах РОС [3; 4]. На різних етапах проектування КСЗІ для РОС традиційно подібні багатокритеріальні оптимізаційні задачі розв'язуються різними точними методами, наприклад, гілок та меж, лінійного програмування та ін. Застосування точних методів вирішення подібних завдань, частіше всього призводить до зростання витрат як тимчасових, так і обчислювальних.

У роботі [5] представлені різні формулювання завдань оптимального розподілу ресурсів між функціями управління механізмами ІБ ОБІ. Було запропоновано кілька постановок завдань розподілу ресурсів сторін захисту ОБІ. Відповідні засоби призначені для застосування як на стадії проектування КСЗІ для ОБІ, так і на стадії удосконалення та розвитку його контурів ІБ.

Автори [6] виділяють сім основних функцій забезпечення ІБ ОБІ. Відповідно, було запропоновано два підходи до деталізації та формалізації розподілу ресурсів між різними функціями ЗЗІ. Перший підхід базується на необхідності обліку складу та кількості ЗЗІ. Другий підхід – аналіз узагальнених закономірностей і зв'язків між вкладеними в ЗЗІ та ефективністю їх застосування для ОБІ. Автори робіт [5; 6] не наводять конкретні приклади застосування запропонованих оптимізаційних моделей.

У роботах [7; 8] розглянуті моделі, у яких розподіл ресурсів між об'єктами захисту для ОБІ виконано на основі ігрової моделі та принципу рівної захищеності об'єктів. Рішення достатньо трудомістке, оскільки для кожного ігрового персоналу необхідно розв'язувати задачу лінійного програмування за умови фіксованого рішення іншого гравця.

У [9; 10] показано, що ускладнення сценаріїв протистояння сторони захисту ОБІ та атакуючих, відбивається на структурі математичних моделей, які повинні відображати нові умови та ситуації що виникають.

Одним із напрямів досліджень за цією проблемою, пов'язаною з підвищенням ефективності вирішення оптимізаційної задачі, є еволюційні та генетичні алгоритми (ГА) [11].

У роботах [11; 12] показано, що ГА досить успішно можуть застосовуватися для вирішення задач структурної та параметричної оптимізації контурів ІБ для ОБІ.

У роботі [13] наведено розв'язання оптимізаційної задачі побудови ефективної системи захисту інформації за допомогою ГА. Однак не описано, як саме обиралася цільова функція.

У роботі [14] розглядається можливість застосування систем підтримки прийняття рішень для завдання розміщення засобів технічного виявлення для захисту інформації на основі ГА. Проте, докладного рішення автори не наводять.

У роботі [15] вивчається можливість застосування модифікованого генетичного алгоритму для вирішення завдання раціонального вибору апаратно-програмних засобів захисту інформації (ЗЗІ) і динамічного керування конфігураціями засобів на різних рівнях безпеки радіотехнічних систем, а також інформаційних систем. Але, як і в роботі [15], обґрунтованого розв'язання завдання авторами не наведено.

Новим етапом розвитку теорій ГА стали гібридні системи [16; 17]. Такі системи базуються на поєднанні різних наукових напрямів. Існує декілька способів гібридизації. Один з таких способів – поєднання нечітких і ГА. Тобто при такому підході методи нечіткої логіки застосовують для налаштування параметрів ГА.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На основі вищезазначеного можна констатувати, що до сьогодні залишається актуальним завдання розробки інтегрованих методів вирішення завдань, пов'язаних із розміщенням ЗЗІ по контурам РОС та

оптимізацією ресурсів сторони захисту (точніше коаліції захисників). Це дозволяє паралельно шукати рішення оптимізаційної задачі з розміщення окремих ЗЗІ по контурах РОС, враховуючи обмеження.

**Метою статті** є проведення досліджень модифікованого ГА для автоматизації підбору ЗЗІ на вузлах РОС шляхом максимізації ймовірності успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх задач атакуючої сторони.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі завдання:

- розробити модифікований ГА (МГА) для вирішення завдань максимізації ймовірності успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх задач атакуючої сторони та оптимізації розміщення ЗЗІ на вузлах РОС;

- розробити та протестувати прикладне програмне забезпечення на базі модифікованого ГА (далі МГА) для вирішення оптимізаційної задачі щодо розміщення окремих ЗЗІ по контурам РОС, враховуючи обмеження.

**Виклад основного матеріалу.** Трудність постановки задачі насамперед пов'язана з вибором цільової функції (ЦФ –  $W$ ). Це спричинене тим, що однією з головних цілей розміщення ЗЗІ по вузлах РОС для конкретного ОБІ, є підвищення його метрик інформаційної безпеки.

Згідно з метою дослідження як ЦФ прийнято значення ймовірності успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх завдань атакуючої сторони (наприклад, у грошовому еквіваленті). Для цього необхідно визначити величину:

$$W = P^z(X) = \max_X \prod_{p_a=1}^{PA} \left( 1 - \sum_{j \in G_{I^{p_a-1}}^{p_a}} P_j^{p_a} P_{j n_{p_a}} \right), \quad (1)$$

при обмеженнях:  $C^z \leq C_{\text{дон}}^z$ ,

$$\sum_{j \in G_{I^{p_a-1}}^{p_a}} P_j^{p_a} P_{j n_{p_a}} \leq P_{p_a \text{ дон}}^p \quad p_a = 1, 2, \dots, PA$$

$$x_{jm} = \{0, 1\}, (j \in B_{p_a}, j \neq 0; m \in N_j^{p_a}; p_a = 1, 2, \dots, PA)$$

де  $C^z$ ,  $C_{\text{дон}}^z$  – відповідно, базова вартість і максимально допустима вартість ЗЗІ для вузла РОС;  $p_a$  – ціль кібернетичної атаки на вузол РОС;  $B_{p_a}$  – множина номерів кібернетичних загроз для вузла РОС;  $P_j^{p_a}$  – ймовірність реалізації тими, хто атакує  $p_a$  – цілі;  $P_{p_a \text{ дон}}^p$  – допустиме значення ймовірності реалізації атакуючими  $p_a$  – цілі;  $P_{j n_{p_a}} = \rho_l^{p_a} \cdot g_l^{p_a}$ ;  $g_j^{p_a}$  – ймовірність подолання  $j$ -го ЗЗІ при спробі атакуючих досягнути  $p_a$  – цілі;  $\rho_l^{p_a}$  – ймовірність переходу атакуючих на більш високий рівень ( $l$ ) у станах вузла РОС;  $G_i^{p_a}$  – множина станів вузла РОС при спробах атакуючих досягнути  $p_a$  – цілі атаки;  $I^{p_a}$  – кількість рівнів графа станів вузла РОС, що описує дії атакуючих при спробі досягнути  $p_a$  – й цілі атаки;  $N_j^{p_a}$  – множина номерів ЗЗІ, які можуть бути застосовані для протидії цілі  $p_a$  на  $j$  контурі захисту РОС;  $m$  – засоби або міра захисту інформації для  $j$  – го контуру ІБ ОБІ.

Припустимо, що  $PO$  – деяка популяція на етапі  $t$  рішення описаної виразом (1) оптимізаційної задачі. Тобто  $PO_t = \{ch_1, ch_2, \dots, ch_z\}$ , де  $ch_z$  – хромосома популяції, що аналізується;  $t = [1, N]$ ;  $z = [1, M]$  – відповідно,  $N, M$  – кількість популяцій і кількість хромосом ( $ch$ ) в популяції.

Отже, множина рішень ГА для цієї задачі може бути описана так:

$$Ch = \{ch_{zt}; t = 1, 2, \dots, N; z = 1, 2, \dots, M\}. \quad (2)$$

Цільову функцію ( $W$ ) представимо як нормований адитивний критерій. Цей адитивний критерій повинен включати в себе оцінки кількості вузлів РОС, що аналізує ОБІ з найменшими показниками метрик ІБ та сумарною вартістю всіх ЗЗІ, які необхідно виконувати:

$$W = k_1 \cdot W_1 + k_2 \cdot W_2, \quad (3)$$

де  $k_1, k_2$  – вагові коефіцієнти для локальних критеріїв.

За допомогою вагового коефіцієнта  $k_1$  враховуємо важливість впливу на загальні показники захищеності ОБІ числа критично важливих вузлів РОС. А з допомогою  $k_2$  – вплив вартості окремого ЗЗІ на вузлі.

Крім того,  $W_1$  – критерій для оцінювання кількості вузлів РОС, на яких метрики ІБ низькі або відсутні,  $W_2$  – критерій оцінювання сумарної вартості усіх ЗЗІ для РОС або, іншими словами, це ресурси, необхідні коаліції сторони захисту для досягнення своїх цілей.

Для вирішення задачі необхідно максимізувати значення ЦФ –  $W$ , тобто

$$W(Ch) \rightarrow \max W(ch_{opt}) = \max W(ch_{ij}), \quad ch_{ij} \subset Z. \quad (4)$$

З урахуванням робіт [11; 18–20] пропонується така процедура вирішення цих задач розміщення ЗЗІ по вузлах РОС для ОБІ.

Ця методика застосування алгоритму описується так.

1. Введення початкових даних (кількість вузлів РОС, кількість ЗЗІ для кожного вузла, інтегральний показник [21] ефективності ЗЗІ та ін.).
2. Задаємо варіант початкового розміщення ЗЗІ для вузла РОС.
3. Формуємо початкову популяцію (побудова початкової множини рішень).
4. Задаємо початкові значення керуючих параметрів для ГА.
5. За рахунок застосування нечітких генетичних операторів, реалізуємо процедуру покращення якості розміщення ЗЗІ по вузлах РОС. Для цього застосовуємо такі оператори:
  - а) для вибору рішень;
  - б) для вибору стратегії інвестування в захист вузла і РОС в цілому (на основі робіт [11; 22]);
  - в) застосування класичних операторів ГА;
  - д) для відбору кращих рішень;
  - д) для формування нових множин розв'язків.
6. Реалізуємо заданий ГА за попереднім відбором ЗЗІ для вузла РОС.
7. Розрахунок одержаного значення цільової функції.
8. Перевіряємо виконання критерію зупинки роботи ГА.
9. Відслідковуємо роботу нечіткого логічного контролера.
10. Якщо необхідно, то виконуємо повернення до етапу 5.

Одержане значення ЦФ ( $W$ ) перевіряється на можливе покращення рішення. Крім того, додаткова перевірка виконується за показниками кількості заданих ітерацій.

Як початкові дані прийняті: кількість вузлів РОС; кількість ЗЗІ для кожного вузла; інтегральний показник ефективності ЗЗІ; ступінь критичності вузла РОС для бізнес-процесів ОБІ.

Після введення початкових даних та їх кодування, наприклад, у бінарному вигляді, отримуємо початкову популяцію ГА. В якості механізму отримання нових рішень застосовується операція кросинговеру. Розраховується значення ЦФ ( $W$ ). Значення проходить перевірку. Якщо ЦФ пройшла перевірку (за інтегральними метриками безпеки, наприклад, ймовірність успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх завдань атакуючої сторони не повинна бути менше 0,95), то алгоритм завершує свою роботу.

З метою покращення якості розміщення ЗЗІ по вузлам РОС задіяний нечіткий ГА. В ньому у відповідності з роботою [23] застосовується кодування розв'язків за допомогою дійсних чисел. У такому випадку хромосома ( $ch_{ij}$ ) – вектор дійсних чисел. Довжина ( $ch_{ij}$ ) еквівалентна довжині вектору розв'язку задачі, що розглядається щодо багатокритеріальної оптимізації КСЗІ для ОБІ.

При реалізації кросинговера пари батьків підбираються за принципом «елітарності» однієї особини та «випадковості» другої. Розв'язки, які були отримані в результаті кросинговера, а також вихідні рішення, сформулюють так звану підпопуляцію. Потім з підпопуляції відберемо найкращі особини.

Для реалізації оператора кросинговера прийняті наступні припущення.

Нехай  $Ch = (ch_1, \dots, ch_n)$  і  $ChY = (chy_1, \dots, chy_n)$  – хромосоми для яких використовується кодування за допомогою дійсних чисел. Ці хромосоми обрані на основі визначеної стратегії. Стратегія відповідає за результат кросинговеру. У результаті кросинговеру будуть отримані нащадки:

$$De_1 = (de_1^1, \dots, de_n^1) \text{ або } De_2 = (de_1^2, \dots, de_n^2), \quad (5)$$

де  $de_i^1$  – випадково відібране число на інтервалі  $[x_i^1, z_i^1]$

При цьому  $x_i^1 = \max\{a_i, ch_i - H \cdot \alpha\}$  і  $z_i^1 = \min\{b_i, ch_i + H \cdot \alpha\}$ ,

відповідно,  $de_i^2$  – випадково відібране число на інтервалі  $[x_i^2, z_i^2]$ ,

$a, b$  – межі арифметичного оператора кросинговеру,

При цьому  $x_i^2 = \max\{a_i, chy_i - H \cdot \alpha\}$  і  $z_i^2 = \min\{b_i, chy_i + H \cdot \alpha\}$ , де  $H = [ch_i - chy_i]$ ,  $\alpha$  – коефіцієнт налаштування арифметичного оператора кросинговеру.

Перевагою такого варіанту реалізації кросинговеру є те, що враховується різноманітність популяцій рішень. Крім того, враховується ступінь «близькості» нових рішень до батьківських.

На рис. 1  $c_{ch}^1$  та  $c_{ch}^2$  – хромосоми, які відібрані для реалізації генетичного оператора.

Після того, як були задіяні генетичні оператори, зокрема, арифметичний оператор кросинговера [24], виконано підсумковий розрахунок значень ЦФ -  $W$ . Модифікація розмірів ЗЗІ по вузлам РОС виконується до тих пір, поки не будуть досягнуті необхідні показники за метриками ІБ для ОБІ. Процес пошуку оптимального рішення можна прискорити, якщо додатково задіяти так званий нечіткий логічний контролер (НЛК).

Запропоновані алгоритми були реалізовані в програмному комплексі для інженерного рішення оптимізаційної задачі, пов'язаної з підбором ЗЗІ по вузлам РОС. Такий підбір дозволяє здійснювати різні підходи до створення КСЗІ. Наприклад, можна збільшити розміри ресурсів (фінансових, організаційних, матеріальних), які спрямовані на захист найбільш критичних вузлів РОС, на яких зберігаються найбільш цінні інформаційні масиви компанії.

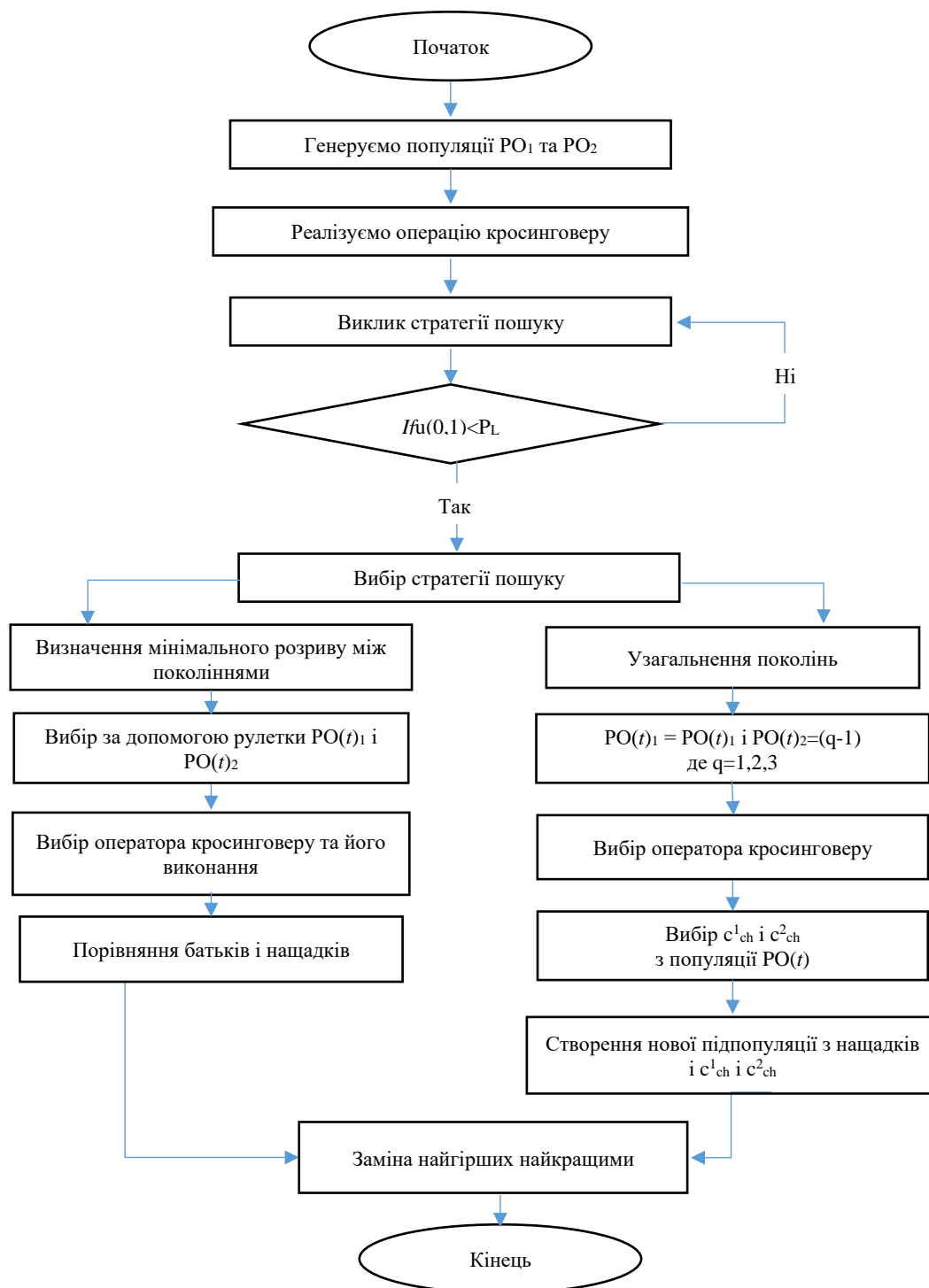


Рис. 1. Концептуальна блок-схема формування нової популяції ЗЗІ

Наведений алгоритм було реалізовано у програмному застосунку. Загальний вигляд інтерфейсу програми, показаний на рисунку 2.

МГА дозволяє дослідити цільову функцію (вираз (1)), яка описує ймовірність успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх задач атакуючої сторони. Це, у свою чергу, дозволяє виконати швидкий перебір різних варіантів ЗЗІ та їх комбінацію для отримання результатів РОС, виходячи з критерію максимуму ймовірності успішної протидії ЗЗІ реалізації всіх цілей порушниками.

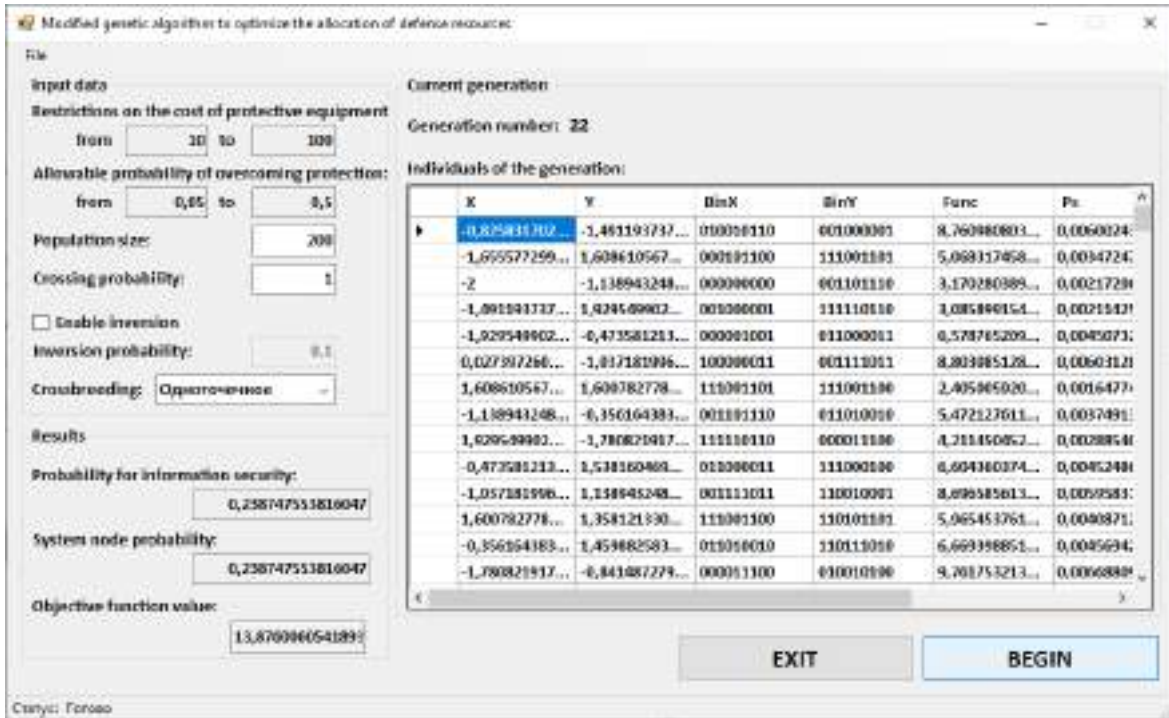


Рис. 2. Загальний вигляд додатків для визначення ймовірності успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх завдань атакуючої сторони (на основі МГА)

Також було виконано порівняння продуктивності запропонованого МГА з рішенням на основі класичного оптимізаційного методу гілок та меж [25]. Результати показані на гістограмах рисунків 3 і 4.

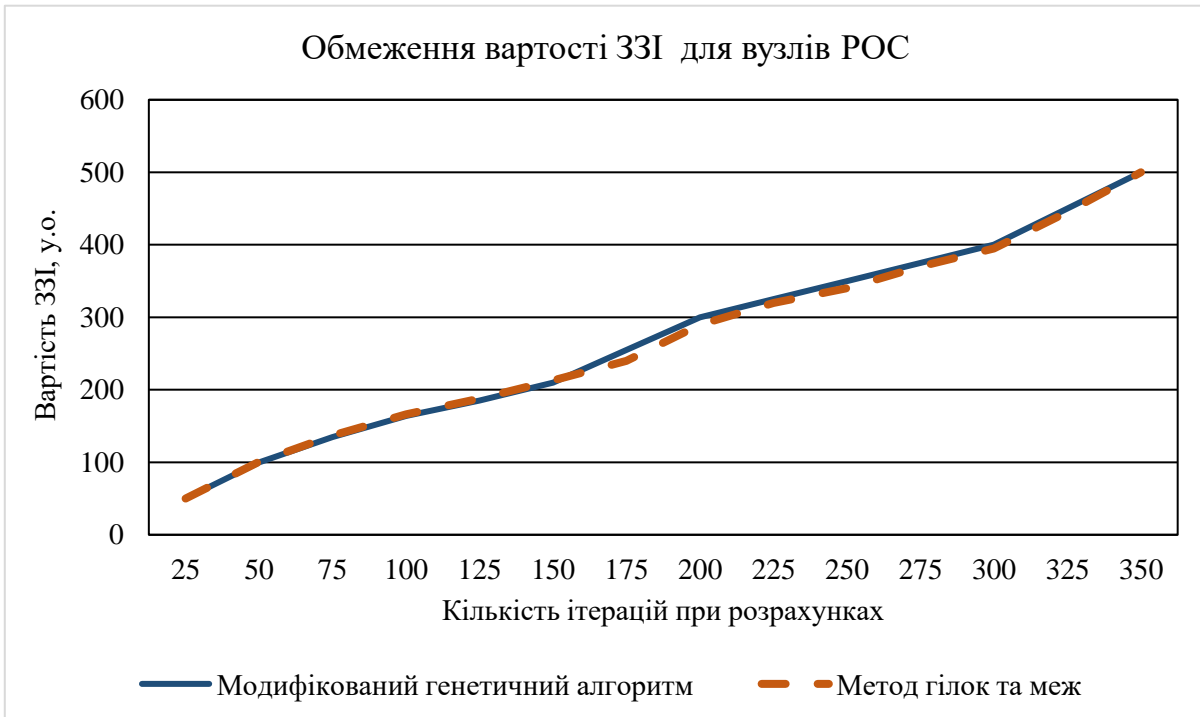


Рис. 3. Результати обчислювальних експериментів для різних варіантів обмежень за вартістю ЗЗІ для вузлів РОС



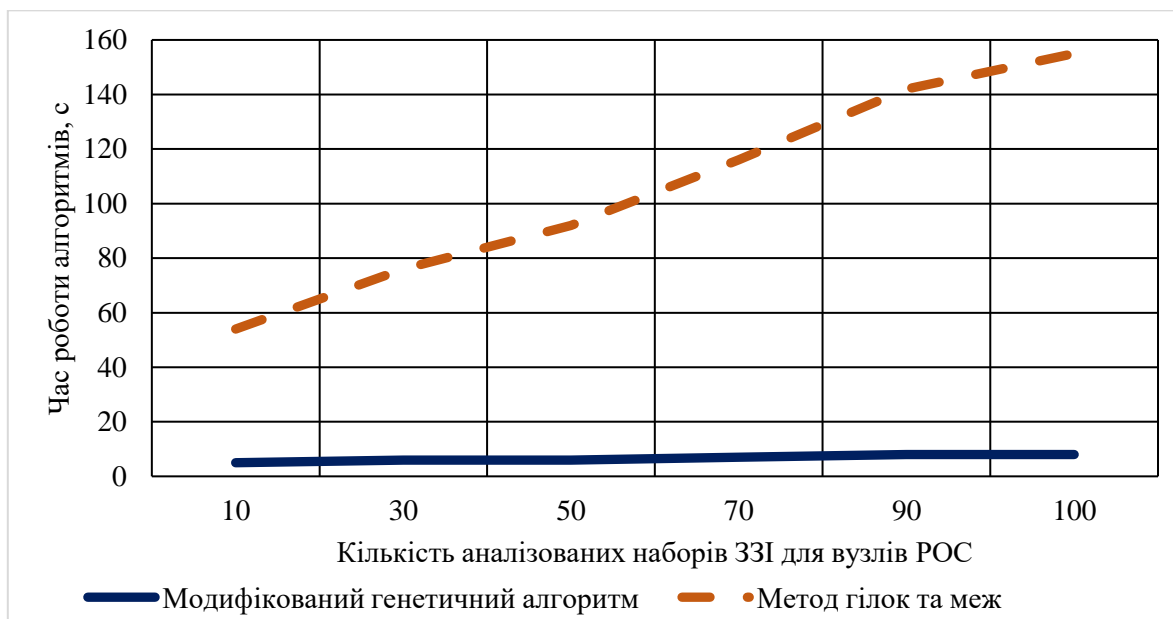


Рис. 4. Результати обчислювальних експериментів відповідно до часу роботи МГА і методу гілок і меж

На рис. 3 показані порівняльні результати вибіркового експерименту для різних варіантів обмежень за даними ЗЗІ для вузлів РОС. Як видно на графіку метод гілок та меж і МГА демонструють приблизно однакову ефективність у ході вирішення розглянутої задачі. Максимальна похибка склала 3,1-3,5 %.

На рисунку 4 показані порівняльні результати обчислювальних експериментів за умови порівняння часу роботи МГА та методу гілок та меж. За графіками, очевидно, що програмна реалізація МГА дозволила прискорити пошук оптимальних варіантів розміщення ЗЗІ за вузлами РОС у 7–15 раз.

До недоліків застосування МГА на теперішньому етапі проведення наших досліджень, може бути віднесений той факт, що були проаналізовані не всі можливі алгоритми вирішення поставлених завдань з метою оптимізації задач. Наприклад, не розглядалися варіанти вирішення шляхом залучення інших еволюційних алгоритмів.

**Висновки.** Таким чином, у статті отримані наведені нижче основні результати.

Запропоновано розв'язувати завдання визначення оптимального складу комплексу ЗЗІ для вузлів розподіленої обчислювальної системи (РОС) з допомогою модифікованого ГА (МГА). Наукова новизна полягає в тому, що в якості цільової функції обраний критерій максимальної ймовірності успішної протидії ЗЗІ реалізації всіх цілей порушником. На відміну від існуючих підходів, запропонований у роботі МГА та відповідна цільова функція, передбачають реалізацію кросинговеру у випадку, коли пари батьків підібрані виходячи з принципу «елітарності» однієї особини та «випадковості» другої. Запис хромосом здійснюється за допомогою кодування дійсними числами, а хромосоми відображаються на основі конкретної стратегії, яка відповідає за результат кросинговеру. Модифікація розмірів ЗЗІ за вузлами РОС виконується доти, поки не будуть досягнуті необхідні показники для метрики ІБ для ОБІ. Процес пошуку оптимального рішення може бути прискорено, якщо в структурі МГА додатково задіяно нечіткий логічний контролер.

Практична цінність дослідження полягає в програмній реалізації запропонованого МГА. Це дозволило автоматизувати процедуру аналізу варіантів розміщення різних ЗЗІ за вузлами РОС. Відповідно, можна проектувати високонадійні системи ІБ (або КСЗІ) для РОС у короткі терміни та за порівняно низьких обчислювальних витрат.

За допомогою розробленого програмного продукту виконані обчислювальні експерименти для перевірки працездатності МГА в процесі визначення ймовірності успішної протидії ЗЗІ на вузлах РОС реалізації всіх задач атакуючої сторони. Показано, що реалізація МГА дозволила прискорити пошук оптимальних варіантів розміщення ЗЗІ по вузлах РОС у 7–15 раз. Зазначена перевага дозволяє виконувати швидкі перебори різних варіантів ЗЗІ та їх комбінацій для вузлів РОС, виходячи з критерію максимуму ймовірності успішної протидії ЗЗІ реалізації всіх цілей порушниками.

Результати, включені до статті, отримані на підставі досліджень, проведених із застосуванням сучасного обладнання. Наукові висновки, сформульовані у статті, обґрунтовані теоретично та підтверджені в процесі обчислювальних експериментів, добре узгоджуються з іншими роботами в цьому напрямку.

### Список використаних джерел

1. Годовой отчет компаний Cisco по информационной безопасности [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.cisco.com/c/dam/global/ru\\_ru/assets/offers/assets/cisco\\_2018\\_acr\\_ru.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/offers/assets/cisco_2018_acr_ru.pdf).
2. Отчет «Понимание кибер-угроз 2020» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cloudav.ru/upload/iblock/b58/PandaLabs%20-%20Threat-Insights-2020.pdf>.
3. Optimization Model of Adaptive Decision Taking Support System for Distributed Systems Cyber Security Facilities Placement / Kalizhanova, Aliya, et al. // International Journal of Electronics and Telecommunications. – 2020. – Pp. 493-498.
4. Optimization of NIDS placement for protection of intercommunicating critical infrastructures / R. Puzis, M. D. Klippel, Y. Elovici, S. Dolev // European Conference on Intelligence and Security Informatics. – Springer, Berlin, Heidelberg, December 2008. – Pp. 191-203.
5. Белов С. В. Формализация задачи распределения ресурсов между различными функциями обеспечения защиты информации / С. В. Белов, Е. А. Попова, М. В. Кальнов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2012. – № 1. – С. 112–116.
6. Быков А. Ю. Алгоритмы распределения ресурсов для защиты информации между объектами информационной системы на основе игровой модели и принципа равной защищенности объектов / А. Ю. Быков, Е. С. Шматова // Машиностроение и компьютерные технологии. – 2015. – Вып. 9. – С. 160–187.
7. Oh S. J. Adversarial image perturbation for privacy protection a game theory perspective / S. J. Oh, M. Fritz, B. Schiele // 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV). – IEEE. – October 2017. – Pp. 1491-1500.
8. Zhu Q. Game theory meets network security: A tutorial / Q. Zhu, S. Rass // Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security. – January 2018. – Pp. 2163-2165.
9. Dimitrov W. The Impact of the Advanced Technologies over the Cyber Attacks Surface / W. Dimitrov // Computer Science On-line Conference. Springer, Cham. – July 2020. – Pp. 509-518.
10. Ettiane R. Toward securing the control plane of 5G mobile networks against DoS threats: Attack scenarios and promising solutions / R. Ettiane, A. Chaoub, R. Elkouch // Journal of Information Security and Applications. – 2021. – Vol. 61. – Art. 102943.
11. Allocation of Organizational and Financial Resources of the Information Protection Side Using a Genetic Algorithm / V. Lakhno, S. Adilzhanova, O. Kryvoruchko, A. Desiatko, V. Buriachok // Lecture Notes in Networks and Systems. – 2021. – Vol. 228. – Pp. 41-53.
12. Bagane P. Comparison between traditional cryptographic methods and genetic algorithm based method towards Cyber Security / P. Bagane, D. K. Sirbi // International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET). – 2021. – Vol. 12(2). – Pp. 676-682.
13. Мурзакова Е. А. Проектирование оптимальной системы защиты информации с использованием генетического алгоритма / Е. А. Мурзакова, Т. И. Паюсова, А. А. Мурзакова // Математическое и информационное моделирование: сборник научных трудов. – 2018. – Вып. 16. – С. 331-340.
14. Прокопенко А. С. Разработка генетического алгоритма размещения средств технической защиты информации / А. С. Прокопенко, Н. И. Кушниренко, А. А. Яковенко // Современные информационные и электронные технологии. – 2016. – № 1(17). – С. 129-130.

15. Гулак Г. М. Метод раціонального керування системами кіберзахисту та забезпечення гарантоздатності радіотехнічних систем / Г. М. Гулак, В. А. Лахно, С. А. Адилжанова // Вестник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радиоаппаратостроение. – 2020. – Вип. 83. – С. 62-68.
16. Demertzis K. A bio-inspired hybrid artificial intelligence framework for cyber security / K. Demertzis, L. Iliadis // *Computation, cryptography, and network security*. – Springer, Cham, 2015. – Pp. 161-193.
17. Hybrid-driven finite-time  $H_\infty$  sampling synchronization control for coupling memory complex networks with stochastic cyber attacks / K. Shi, S. Zhong, Y. Tang, J Cheng. // *Neurocomputing*. – 2020. – Vol. 387. – Pp. 241-254.
18. Гладков Л. А. Гибридный генетический алгоритм решения задачи размещения элементов СБИС с учетом трассируемости соединений / Л. А. Гладков // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 3 (43). – С. 58–66.
19. Гладков Л. А. Решение задач проектирования на основе гибридных генетических алгоритмов / Л. А. Гладков // Вестник БФУ им. И. Канта. – 2012. – Вып. 10. – С. 86-93.
20. The use of a genetic algorithm in the problem of distribution of information security organizational and financial resources (2020) / V. Lakhno, B. Akhmetov, S. Adilzhanova, A. Blozva, R. Svitlana, R. Dmytro // *ATIT 2020 - Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory*. – 2020. – № 9349310. – Pp. 251-254.
21. Information safety of Ukraine: Integral assessment and taxonomic analysis / A. Yakymchuk, N. Popadynets, T. Vasylytsiv, I. Irtysheva, R. Bilyk, Y. Khomosh, O. Irtyshev // *International Journal of Data and Network Science*. – 2021. – Vol. 5(2). – Pp. 75-82.
22. Adaptive model of cybersecurity financing with fuzzy sets of threats and resources at the protection side / B.S. Akhmetov, V.A. Lakhno, V.P. Malyukov, A.A. Doszhanova, Z.K. Alimseitova // *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 9, № (4). – Pp. 5046-5052.
23. Deb K. Real-Coded Evolutionary Algorithms with Parent-Centric Recombination. Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL), Kanpur, PIN 208 016 / K. Deb, D. Joshi, A. Anand. – India: KanGAL Report. – № 2001003.
24. Wang Z. A Golden Section-based Double Population Genetic Algorithm Applied to Reactive Power Optimization / Z. Wang, Y. Xu // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. – 2021. – Vol. 645, No. 1. – Pp. 012074.
25. A Model of Optimal Complexification of Measures Providing Information Security / P.D. Zegzhda, V.G. Anisimov, A.F. Suprun, E.G. Anisimov, T.N. Saurenko, V.P. Los // *Automatic Control and Computer Sciences*. – 2020. – Vol. 54(8). – Pp. 930-936.

### References

1. Cisco Annual Report on Information Security. [https://www.cisco.com/c/dam/global/ru\\_ru/assets/offers/assets/cisco\\_2018\\_acr\\_ru.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/offers/assets/cisco_2018_acr_ru.pdf).
2. Report "Understanding Cyber Threats 2020". <https://www.cloudav.ru/upload/iblock/b58/PandaLabs%20-%20Threat-Insights-2020.pdf>.
3. Kalizhanova, A. et al. (2020). Optimization Model of Adaptive Decision Taking Support System for Distributed Systems Cyber Security Facilities Placement. *International Journal of Electronics and Telecommunications*, 493-498.
4. Puzis, R., Klippel, M. D., Elovici, Y., & Dolev, S. (2008, December). Optimization of NIDS placement for protection of intercommunicating critical infrastructures. In *European Conference on Intelligence and Security Informatics* (pp. 191-203). Springer, Berlin, Heidelberg.
5. Belov, S.V., Popova, E.A., Kalnov, M.V. (2012). Formalizaciya zadachi raspredeleniya resursov mezhdru razlichnymi funkciyami obespecheniya zashchity informacii [Formalization of the problem of resource allocation between various functions of ensuring information security]. *Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitelnaia tekhnika i informatika – Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Engineering and Informatics*, (1), 112–116.
6. Bykov, A.Yu., Shmatova E.S. (2015). Algoritmy raspredeleniia resursov dlia zashchity informatsii mezhdru obektami informatsionnoi sistemy na osnove igrovoi modeli i printsipa ravnoi zashchishchennosti obektov [Algorithms of resource allocation for information protection between objects of the information system based on the game model and the principle of equal security of objects]. *Mashinostroenie i kompiuternye tekhnologii – Mechanical engineering and computer technologies*, 9, 160–187.

7. Oh, S. J., Fritz, M., & Schiele, B. (2017, October). Adversarial image perturbation for privacy protection a game theory perspective. In *2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)* (pp. 1491-1500). IEEE.
8. Zhu, Q., & Rass, S. (2018, January). Game theory meets network security: A tutorial. In *Proceedings of the 2018 ACM SIGSAC Conference on Computer and Communications Security* (pp. 2163-2165).
9. Dimitrov, W. (2020, July). The Impact of the Advanced Technologies over the Cyber Attacks Surface. In *Computer Science On-line Conference* (pp. 509-518). Springer, Cham.
10. Ettiane, R., Chaoub, A., & Elkouch, R. (2021). Toward securing the control plane of 5G mobile networks against DoS threats: Attack scenarios and promising solutions. *Journal of Information Security and Applications*, 61, 102943.
11. Lakhno, V., Adilzhanova, S., Kryvoruchko, O., Desiatko, A., & Buriachok, V. (2021). Allocation of Organizational and Financial Resources of the Information Protection Side Using a Genetic Algorithm. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 228, 41-53.
12. Bagane, P., & Sirbi, D. K. (2021). Comparison between traditional cryptographic methods and genetic algorithm based method towards Cyber Security. *International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology (IJARET)*, 12(2), 676-682.
13. Murzakova, E.A., Payusova, T.I., & Murzakova, A.A. (2018). Design of an optimal information protection system using a genetic algorithm. *Mathematical and information modeling: a collection of scientific papers*, 16, 331-340.
14. Prokopenko, A.S., Kushnirenko, N.I., & Yakovenko, A.A. (2016). Development of a genetic algorithm for the placement of means of technical protection of information. *Modern Information and Electronic Technologies*, 1(17), 129-130.
15. Hulak, H.M., Lakhno, V.A., & Adiljanova, S.A. (2020). Metod ratsionalnoho keruvannia systemamy kiberzakhystu ta zabezpechennia harantozdatnosti radiotekhnichnykh system [Method of rational management of cyber defense systems and ensuring the warranty of radio systems]. *Visnyk NTUU «KPI». Radiotekhnika Radioaparabuduvannia – Bulletin of NTUU «KPI». Radio Engineering Series. Radio equipment construction*, (83), 62-68.
16. Demertzis, K., & Iliadis, L. (2015). A bio-inspired hybrid artificial intelligence framework for cyber security. In *Computation, cryptography, and network security* (pp. 161-193). Springer, Cham.
17. Shi, K., Zhong, S., Tang, Y., & Cheng, J. (2020). Hybrid-driven finite-time  $H_\infty$  sampling synchronization control for coupling memory complex networks with stochastic cyber attacks. *Neurocomputing*, 387, 241-254.
18. Gladkov, L.A. (2011). Gibridnyj geneticheskij algoritm resheniya zadachi razmeshcheniya elementov SBIS s uchetom trassiruemosti soedinenim [Hybrid genetic algorithm for solving the problem of placing VLSI elements taking into account the traceability of connections]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia – Bulletin of the Rostov State University of Communications*, (3), 58–66.
19. Gladkov, L.A. (2012). Reshenie zadach proektirovaniiana osnove gibridnykh geneticheskikh algoritmov [Solving design problems based on hybrid genetic algorithms]. *Vestnik Baltiiskogo federalnogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Fiziko-matematicheskie i tekhnicheskie nauki – Bulletin of the IKBFU. I. Kant*, (10), 86-93.
20. Lakhno, V., Akhmetov, B., Adilzhanova, S., Blozva, A., Svitlana, R., & Dmytro, R. (2020). The use of a genetic algorithm in the problem of distribution of information security organizational and financial resources. *ATIT 2020 - Proceedings: 2020 2nd IEEE International Conference on Advanced Trends in Information Theory*, 9349310, 251-254.
21. Yakymchuk, A., Popadynets, N., Vasylytsiv, T., Irtysheva, I., Bilyk, R., Khomosh, Y., & Irtyshev, O. (2021). Information safety of Ukraine: Integral assessment and taxonomic analysis. *International Journal of Data and Network Science*, 5(2), 75-82.
22. Akhmetov, B.S., Lakhno, V.A., Malyukov, V.P., Doszhanova, A.A., & Alimseitova, Z.K. (2020). Adaptive model of cybersecurity financing with fuzzy sets of threats and resources at the protection side. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 9(4), 5046-5052.

23. Deb, K., Joshi, D., Anand, A. (n.d.). Real-Coded Evolutionary Algorithms with Parent-Centric Recombination. Kanpur Genetic Algorithms Laboratory (KanGAL), Kanpur, PIN 208 016. KanGAL Report. № 2001003.

24. Wang, Z., & Xu, Y. (2021). A Golden Section-based Double Population Genetic Algorithm Applied to Reactive Power Optimization. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 645, No. 1, p. 012074). IOP Publishing.

25. Zegzhda, P. D., Anisimov, V. G., Suprun, A. F., Anisimov, E. G., Saurenko, T. N., & Los, V. P. (2020). A Model of Optimal Complexification of Measures Providing Information Security. *Automatic Control and Computer Sciences*, 54(8), 930-936.

Отримано 06.08.2021

UDC 004.056.57-048.34

**Valerii Lakhno<sup>1</sup>, Dmytro Kasatkin<sup>2</sup>, Andrii Blozva<sup>3</sup>,  
Borys Husiev<sup>4</sup>, Tetiana Osypova<sup>5</sup>, Yuriy Matus<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Computer Systems, Networks and Cybersecurity  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [valss21@ukr.net](mailto:valss21@ukr.net). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9695-4543>

<sup>2</sup>PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Computer Systems, Networks and Cybersecurity  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [d.kasatkin@nubip.edu.ua](mailto:d.kasatkin@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2642-8908>

<sup>3</sup>PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Systems, Networks and Cybersecurity  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [andriy.blozva@nubip.edu.ua](mailto:andriy.blozva@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4377-0916>

<sup>4</sup>PhD of Technical Sciences, Associate Professor,

Associate Professor of the Department of Computer Systems, Networks and Cybersecurity  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [gusevbs@nubip.edu.ua](mailto:gusevbs@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1658-7822>

<sup>5</sup>PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Systems, Networks and Cybersecurity  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [t\\_osipova@nubip.edu.ua](mailto:t_osipova@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9199-3436>

<sup>6</sup>Senior Lecturer of the Department of Computer Systems, Networks and Cybersecurity  
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [umatus@nubip.edu.ua](mailto:umatus@nubip.edu.ua). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0974-4789>

## OPTIMIZATION OF THE CHOICE OF INFORMATION PROTECTION USING GENETIC ALGORITHM

*There is still a question of determining the optimal composition of the Information System Security (ISS) complex for nodes of the distributed computer system (DCS). It is also important to automate the selection of hardware and technical means for various information security circuits. This leads to the problem of finding efficient algorithms for determining the optimal composition of ISS complexes, in particular, by improving the genetic algorithm, for which the criterion of the maximum of success in counteracting ISS is chosen as a target function for the probability to achieve all objectives.*

*In contrast to the existing approaches, the proposed MGA and corresponding target function imply the realization of the crossover in cases when parents' pairs are selected on the basis of the principle of «elitism» of one individual and «randomness» of the other. Chromosomes were recorded by encoding the actual numbers. Chromosomes were selected on the basis of a strategy responsible for the crossover's result. The modification of the ISS's sizes by DCS's nodes is carried out until the necessary metric of IS (information security) for the informatization object will be reached. The practical value of the research lies in the programmatic implementation of the proposed MAG. This made it possible to automate the procedure of analysis of options of different ISS behind the DCS's node. Accordingly, it is possible to design high-reliability system of IS (or Integrated information security system) for DCS in a short time and in comparatively low computing costs.*

*With the aid of the developed software, computational experiments are carried out to test the performance of the MGA in the process of determining the probability of successful counteraction of the ISS on the DCS's nodes realization of all tasks of the attacking side. It has been shown that the implementation of MGA has made it possible to speed up the search for optimum variants of ISS placement on DCS's nodes by 7-15 times.*

**Keywords:** optimization; modified genetic algorithm; information security; informatization object; distributed computing system.  
Fig.: 4. References: 25.

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-150-159

УДК 004.3+004.02+004.5

**Тарас Терлецький<sup>1</sup>, Олег Кайдик<sup>2</sup>, Віталій Пташенчук<sup>3</sup>**<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроніки та телекомунікацій  
Луцький національний технічний університет (Луцьк, Україна)**E-mail:** [t.terletskyi@lntu.edu.ua](mailto:t.terletskyi@lntu.edu.ua), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4114-0734><sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Луцький національний технічний університет (Луцьк, Україна)**E-mail:** [o.kaidyk@lntu.edu.ua](mailto:o.kaidyk@lntu.edu.ua), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3620-270X><sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій  
Луцький національний технічний університет (Луцьк, Україна)**E-mail:** [v.ptashenchuk@lntu.edu.ua](mailto:v.ptashenchuk@lntu.edu.ua), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1570-7570>

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ ШЛЯХОМ УЗГОДЖЕННЯ СВІЛОТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОСВІТЛЮВАЧІВ ТА ВІДЕОКАМЕР

У статті приведено результати аналізу шляхів підвищення ефективності систем відеоспостереження за недостатнього освітлення. Встановлено факт неузгодженості світлотехнічних параметрів відеокамер та інфрачервоних освітлювачів, що призводить до зменшення глибини і кута сектору спостереження. Описано аналітично взаємозв'язок їх параметрів та встановлено необхідні умови, за досягнення яких можна покращити ефективність системи. Подано рекомендації стосовно застосування освітлювачів, залежно від довжини їх хвилі випромінювання та поставленої оперативної задачі.

**Ключові слова:** матриця; відеокамера; спектральна характеристика; дальність підсвічування; кут огляду; еквівалентна освітленість.

Рис.: 3. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** Система відеоспостереження (CCTV) – невід'ємна складова сучасних інформаційних систем безпеки, завданням якої є спостереження, фіксація та запобігання потенційним правопорушенням, не обмежуючи свободу переміщення оточуючих.

Ці системи з оперативно-технічного погляду мають забезпечувати цілодобовий контроль усіх потрібних ділянок об'єкта захисту, що в темну пору доби, з метою забезпечення критерію інформативності, потребує застосування спеціалізованого освітлення.

Залежно від характеру відеоспостереження (струмуючий або прихований) це освітлення реалізується з використанням видимого та невидимого для очей людини спектра електромагнітного випромінювання.

У стримуючій зловмисників системі розміщують відеокамери й монітори так, щоб вони були на виду оточуючих. За прихованого відеоспостереження особливу увагу приділяють типу й розмірам телекамери, її маскуванню, прихованості проводки, системі освітлення тощо.

Вирішення певного типу оперативної задачі (моніторинг, розпізнавання, ідентифікація тощо), що ставиться до системи, за недостатнього природного освітлення залежить і від обґрунтованості світлотехнічних характеристик освітлювачів.

**Постановка проблеми.** За неузгодженості світлотехнічних характеристик відеокамер і освітлювачів спостерігається зменшення глибини бачення і кута огляду камери та утворення «мертвих» зон, що негативно впливає на ефективність інформаційної системи.

Вирішення цієї проблеми потребує відповідної методики, на основі якої можна буде досягнути узгодження світлотехнічних параметрів освітлювачів та відеокамер, що дозволить підвищити інформативність системи відеоспостереження за недостатнього природного освітлення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Можливі шляхи підвищення ефективності CCTV за недостатнього освітлення розглядали Ю. М. Гедсберг [1], Влодо Дем'яновські [2], Н. Є. Уваров [3], Н. І. Чура [4; 5], Д. А. Довжиков [6], А. С. Гонга [8] та інші практики-дослідники. Ними було виділено два основні напрями покращення відеоспостереження в темну пору доби:

- підвищення чутливості відеокамери;
- застосування спеціальних освітлювачів.

У першому напрямі розглядали 5 способів підвищення чутливості камер з функцією день/ніч:

- переведення у темну пору доби кольорового сигналу у чорно-білий;
- примусове видалення ІЧ фільтра, встановленого перед матрицею;
- збільшення коефіцієнта підсилення відеотракту перед АЦП і збільшення розрядності тракту обробки сигналу;
- інтегрування заряду за площею матриці;
- інтегрування заряду за часом у матриці.

Перші два способи фактично перетворюють кольорову камеру у чорно-білу, а інші передбачають збільшення чутливості камер.

Одним з основних параметрів світлодіода є довжина хвилі випромінюваного ІЧ світла. У матрицях відеокамер спостерігають [2; 4; 8] спад чутливості зі збільшенням довжини хвилі до області ІЧ діапазону. З огляду на це зазвичай вибирають світлодіоди, основна випромінювальна здатність яких припадає на довжину хвилі 850 нм. У цих світлодіодів можна помітити червонувате світіння в темряві, тому що їх спектральна характеристика частково потрапляє в область видимого спектра. Повністю невидиме випромінювання мають світлодіоди з максимумом спектральної характеристики, що припадає на 930-950 нм. Якщо при організації CCTV немає необхідності в організації прихованого ІЧ підсвічування, то не варто встановлювати подібні освітлювачі, оскільки чутливість матриць відеокамери в цій області нижча, ніж у діапазоні 830-850 нм.

Осьова сила світла визначає дальність освітлення, яку можна збільшити як шляхом застосування більш потужних світлодіодів, так і завдяки збільшенню їх кількості. Проте збільшення кількості світлодіодів, як і збільшення струму, що проходить через кожен світлодіод ІЧ освітлювача, призведе до збільшення дальності виявлення тільки до певного моменту – досягнення так званої області насичення [4; 5].

Дальність підсвічування можна оцінювати як відстань від випромінювача до вертикальної площини, що визначається з умови мінімальної освітленості, яка відповідає 2 лк (точки перетину площини об'єкта спостереження і осі випромінювача) [7].

Розподіл світлового потоку ІЧ освітлювача у просторі представляють у вигляді діаграми просторового розподілу сили світла (діаграма спрямованості), яка показує частку випромінюваної енергії в обраному напрямку від загальної інтенсивності й характеризує ефективність випромінювача з погляду концентрації світлової енергії в потрібному напрямку. Кут випромінювання джерела освітлення визначається за діаграмою спрямованості як кут, який утворений променями, що виходять із точкового джерела і проходять через точки перетину діаграми спрямованості та лінії, яка визначає рівень половини відносної осьової сили світла.

Юрій Гедзберг зазначав: «...за однакової потужності випромінювання ІЧ освітлювачі можуть мати різні кути сектора освітлення (як правило, чим вужчий цей сектор, тим більше радіус дії). Слід мати на увазі, що чим вища довжина хвилі випромінювання, тим радіус дії ІЧ освітлювача менший...» [1].

Радіус дії ІЧ освітлювачів має досить умовне поняття. Це пояснюється тим, що переважно в технічній документації освітлювачів не вказується, з якими відеокамерами цей радіус дії забезпечується. Важливе не тільки значення мінімальної освітленості на об'єкті, необхідної для нормальної роботи камери, але і її спектральна чутливість.

При виборі ІЧ освітлювачів практики рекомендують [1; 2; 7] враховувати їх відмінність за дальністю можливого випромінювання і кутами освітлення. За першим параметром прилади ІЧ освітлювання поділяють на 3 групи: ближньої, середньої та дальньої дії.

Освітлювачі ближньої дії здатні забезпечувати освітлення на відстань від 1,5 до 10 метрів. Ці прилади зазвичай використовують для забезпечення нічного освітлення в банках, офісах, лікарнях, касах і багатьох інших місцях, де нічне відеоспостереження необхідне без застосування звичайних джерел світла.

Освітлювачі середньої дії зазвичай використовують для забезпечення нічного відеоспостереження на великих відкритих територіях, коли необхідно освітити весь простір ділянки. Подібні прилади здатні забезпечувати освітлення території з дальністю до 60 м, і широким кутом освітлення 120-160°.

Далекобійні ІЧ освітлювачі, як правило, забезпечують вузькоспрямований світловий потік, здатний концентруватися на віддаленому об'єкті до 300 м. Кут освітлення у них відповідний – від 20 до 60°. Їх використовують там, де застосування звичайних джерел світла для забезпечення умов відеоспостереження було б неприйнятним. Так, наприклад, ІЧ освітлювачі великої дальності використовуються на автошляхах для відеофіксації ситуації, які не засліплюють при цьому водіїв, і не створюють аварійних ситуацій.

За кутами освітлення ці прилади умовно ділять на ширококутні, що мають, як правило, невелику дальність; прилади з середніми кутами освітлення, а також освітлювачі гостронаправлені з великою дальністю, малі кути освітлення яких обумовлені незначною потужністю випромінювання світлодіодів, що не перевищує 5-10 Вт.

Деякі виробники вказують «відстань розпізнавання людини» за допомогою їх ІЧ освітлювача, проте подібна оцінка є суб'єктивною без проведення відповідних розрахунків із визначення кількості пікселів, що припадає на одиницю розміру об'єкта спостереження віддаленого від камери на визначену відстань. Крім цього «радіус дії» ІЧ освітлювача залежить ще і від коефіцієнта відбиття від об'єкта спостереження.

Нормування виробниками дальності дії своїх виробів розглядав Ніколай Чура [9] і встановив розбіжність заявлених параметрів ІЧ освітлювачів розрахунковим. Він зазначав: «... кращим для оцінки «радіусу дії» ІЧ освітлювача було б рішення, коли в темряві на визначеній відстані від відеокамери встановлювали б тест-об'єкти чітко обумовлених форм, розмірів і кольору, і за осцилографом оцінювався б відгук від цієї мішені в сигналі з відеокамери».

На даний час подібний підхід до атестації, як і сама метрологічна оцінка для ІЧ освітлювачів відсутні.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз наявних тестів відеокамер і освітлювачів, взятий у різних інформаційних ресурсів, дозволив встановити, що в процесі експлуатації зовнішніх відеокамер з ІЧ підсвічуванням, яке встановлене в загальному корпусі з камерою, виникають негативні моменти в їхній роботі – збільшення шумів матриці, надлишковість тепла, засвічення картинки сцени внаслідок забрудненості захисного скла тощо.

Особливу зацікавленість викликала інформація про невідповідність кутів огляду камери з кутами освітлення (у нічну пору реальний кут огляду зменшується внаслідок невідповідності кута освітлення) і глибини бачення камери з дальністю освітлення (глибина бачення суттєво зменшується), яка є актуальною для підвищення інформативності системи відеоспостереження за недостатнього природного освітлення.

**Мета дослідження.** Створення інженерної методики узгодження світлотехнічних параметрів освітлювачів та відеокамер потребувало аналітичного їх опису та отримання відповідних залежностей, а також рекомендацій із використання освітлювачів залежно від характеру системи та типу оперативної задачі.

Використання отриманої методики й розроблених рекомендацій під час проектування системи відеоспостереження дозволить визначити необхідні параметри освітлювальних приладів та обґрунтовано підійти до їх обирання, що суттєво підвищить ефективність даної системи.



**Виклад основного матеріалу.** Застосовуючи ІЧ освітлювачі, досить складно визначити необхідну потужність підсвічування для створення потрібної освітленості на об'єкті спостереження. Виробники, як правило, нормують потужність споживання, дальність підсвічування і діаграму спрямованості ІЧ освітлювача. При цьому кут розкриття діаграми спрямованості нормується найчастіше на рівні  $1/2$  від максимуму потужності. Наведена дальність підсвічування передбачає одночасне вказання чутливості відеокамери, роздільної здатності та відношення сигнал/шум зображення, яке отримується при цьому. Критерієм мінімальної якості зображення є чітке розрізнення нерухомої межі чорного і білого полів на рівні шуму. Труднощі нормування ІЧ підсвічування, недостатність зазначених характеристик, а також часті випадки невідповідності реальних характеристик заявленим приводять до поширення експериментального методу підбору ІЧ освітлювачів у реальних умовах безпосередньо на об'єкті контролю, що вимагає багато часу.

Діаграма спрямованості світлодіодних ІЧ освітлювачів, за рідкісним винятком, формується самими світлодіодами і має форму конуса. Величину кута розкриття прийнято нормувати за рівнем  $1/2$  відносно максимуму, розташованого за віссю світлового пучка. Приклади типових характеристик спрямованості [9] з кутами  $40^\circ$  і  $80^\circ$  наведені на рис. 1. У межах рівня  $1/2$  випромінюється від 65 до 80 % всієї потужності, залежно від конструкції, фокуса світлового діода, наявності додаткового відбивача і кута розкриття.

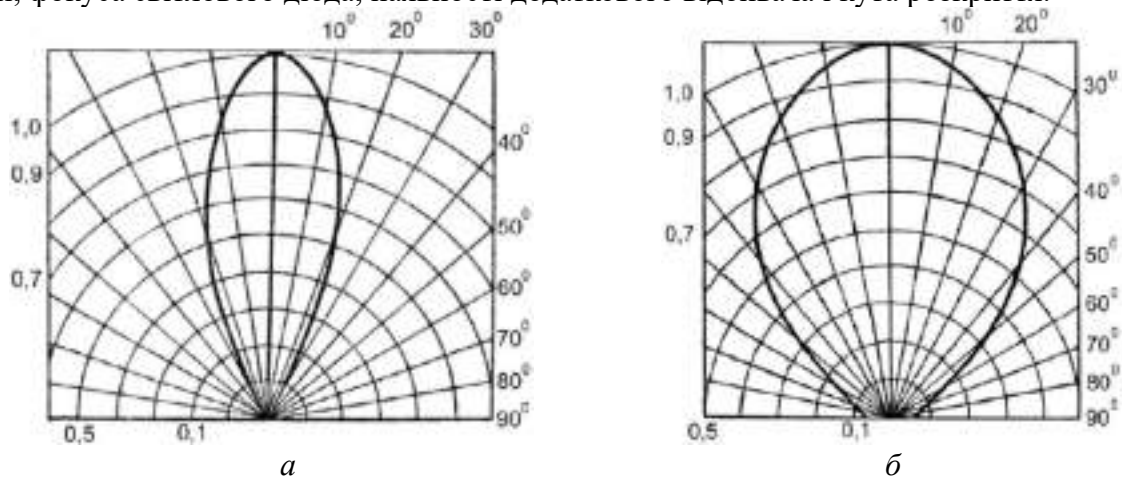


Рис. 1. Діаграми спрямованості світлових потоків ІЧ освітлювачів: з кутом випромінювання а –  $40^\circ$ ; б –  $80^\circ$

Чутливість відеокамер нормується освітленістю (лк) або світловим потоком (лм) – величинами, які характеризують вплив світла на чутливий елемент (око, матриця). Світловий потік характеризує потужність світлового випромінювання. У загальному випадку світловий потік джерела випромінювання з рівномірною спектральною щільністю в діапазоні від  $\lambda_1$  до  $\lambda_2$  можна визначити як:

$$\Phi = k \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} P(\lambda) y(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

де  $k = 683$  – коефіцієнт максимальної спектральної світлової ефективності (фотометричний еквівалент);  $P(\lambda)$  – потужність випромінювання на довжині хвилі  $\lambda$ ;  $y(\lambda)$  – функція бачення ока.

Максимальна спектральна світлова ефективність припадає на довжину хвилі  $\lambda = 555$  нм і відповідає зеленому світлу.

Освітленість поверхні  $E$  характеризується відношенням світлового потоку  $\Phi$ , який падає на неї, до її площі  $S$ . Стосовно віддаленого джерела світлової хвилі можна вважати плоскою. У цьому випадку при падінні світла на поверхню під кутом  $\varphi$  вираз для освітленості у площині об'єкта спостереження матиме вигляд:

$$E_{об} = \frac{\Phi}{S} \cos \varphi. \quad (2)$$

Для монохроматичного випромінювання за максимальної чутливості, з урахуванням вище викладеного і потужності світлового випромінювання, вираз освітленості набуде вигляду:

$$E_{об} = \frac{683P_{onm}}{S} \cos \varphi. \quad (3)$$

При використанні ІЧ підсвічування у відеоспостереженні його джерело можна розглядати як вузькосмугове і монохромне. Таким чином, можна вважати всю потужність випромінювача зосереджену в максимумі його спектральної характеристики.

За аналогією з інтерпретацією взаємодії монохромного і білого світла з оком людини можна оцінити створення еквівалентної освітленості ІЧ підсвічуванням стосовно матриці відеокамери з урахуванням її чутливості в спектральній області підсвічування. Усереднена типова спектральна характеристика чутливості матриці (I) приведена на рис. 2 [4].

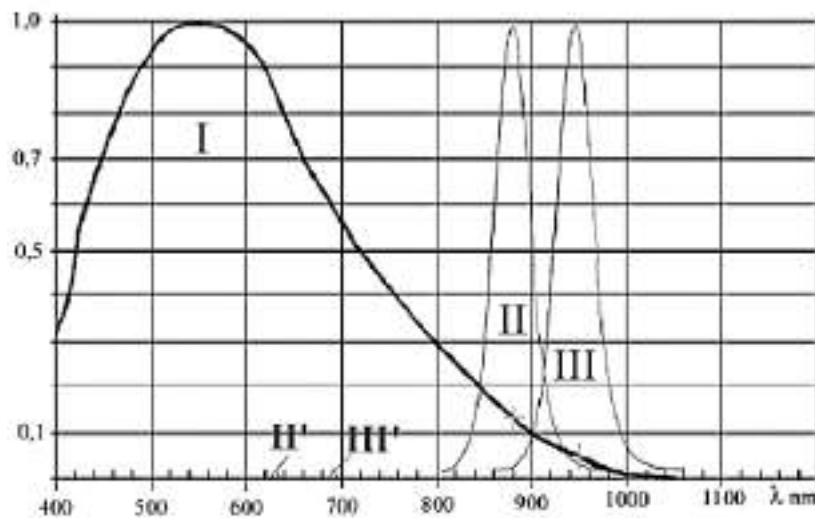


Рис. 2. Характеристики спектральної чутливості типових матриць

З графіка видно, що найефективніше використовувати випромінювачі з мінімальною довжиною хвилі. У цьому випадку зниження світлочутливості матриці камери мінімальне і це дозволяє збільшити дальність підсвічування. Крім цього, ефект розфокусування зображення внаслідок зміни коефіцієнта заломлення оптики, а також і зміщення фокальної площини об'єктива, теж мінімальний. Але чітке бачення джерел випромінювання людським оком призводить до унеможливлення прихованого спостереження.

У свою чергу зміщення випромінювання ІЧ освітлювача в область 940–950 нм призводить до зниження інтенсивності видимого світіння і невидимості цього випромінювання людським оком.

З графіка видно, що чутливість камер для ліній генерації поширених світлодіодних ІЧ випромінювачів з довжиною хвилі 880 нм (II) і 950 нм (III) становить близько 14 і 5 % від максимальної відповідно.

Площу світлової плями, що освітлює об'єкт спостереження, спрощено можна визначити як площу основи конуса, в нашому випадку світлового, з урахуванням дальності підсвічування  $L_n$  і повного плоского кута підсвічування (діаграми спрямованості)  $\theta$ . Отже:

$$S = \pi \left( L_n \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^2. \quad (4)$$

Звідси діаметр світлової плями, яка відповідає лінійному значенню освітленого поля зору камери, можна визначити як:

$$D_{\text{с.п.}} = L_{\text{п.з.}} = 2L_n \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}. \quad (5)$$

З урахування викладеного, освітленість у площині об'єкта набуде такого вигляду:

$$E_{\text{об}} = \frac{683P_{\text{онм}}}{\pi \left( L_n \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right)^2} \cos \varphi. \quad (6)$$

Перетворивши останній вираз отримаємо рівняння, яке дозволить визначити дальність підсвічування ІЧ освітлювачем (відстань до об'єкта спостереження, за якою освітлювач забезпечить рівень освітленості об'єкта спостереження  $E_{\text{об}}$ ):

$$L_n = \frac{1}{\operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \sqrt{\frac{683P_{\text{онм}}}{\pi \frac{E_{\text{об}}}{\cos \varphi}}}. \quad (7)$$

У темну пору доби навколишнє природне освітлення різниться і залежить від погодних умов (див. табл. 1) [2].

Таблиця 1

Значення освітленості стосовно типових випадків

Умови відеоспостереження	Рівень освітленості, лк
Вночі за ясного неба без місячного освітлення	0,003÷0,1
Вночі за місячного освітлення:	
- повний місяць:	0,1÷0,3
- ¼ частини місяця:	0,05
Повні сутінки без вуличного освітлення	1
У сутінках з вуличним освітленням	2

Стикаючись з об'єктом спостереження і освітлюючи його світловий потік втрачає частину свого значення внаслідок часткового його поглинання поверхнею об'єкта.

Поглинання світлового потоку об'єктом є протилежною величиною коефіцієнта відбиття  $\rho$ , яка залежить від матеріалу та кольору його поверхні й характеризується коефіцієнтом поглинання. Найбільше поглинання мають темні кольори, а світлі – найменше.

Втрата частини світлового потоку на об'єкті призводить до зменшення величини освітленості, і як наслідок – відеокамера сприйматиме меншу освітленість, яку називають еквівалентною.

Еквівалентну освітленість, що потрапляє на матрицю відеокамери, можна визначити як:

$$E_{\text{екв}} = E_{\text{об}} K_\lambda K_\alpha \rho, \quad (8)$$

де  $K_\lambda$  – спектральна чутливість відеокамери;  $K_\alpha$  – коефіцієнт пропускання світлового потоку об'єктива камери;  $\rho$  – коефіцієнт відбиття світлового потоку поверхнею об'єкта спостереження.

Для звичайних камер спостереження освітленість об'єкта  $E_{\text{об}}$  можна призначати в діапазоні 2-5 лк, достатньому для отримання прийняттого зображення; а стосовно чутливих камер – 0,4-0,6 лк.

У свою чергу, відеокамера на відкритому просторі формує зображення зони спостереження, яка просторово обмежена кутами огляду у вертикальній і горизонтальній площинах (рис. 3). Щоб зона відображення об'єкта спостереження в лінійному полі зору камер у темну пору доби не звужувалася необхідно щоб ці кути перекривав, або був більшим за них, повний плоский кут підсвічування  $\theta$  ІЧ освітлювача.

Територію, що потрапляє в зону огляду, називають сектором огляду, а її відображення – сценою.

З наведеної схеми (рис. 3) видно, що на величину кута огляду впливає фокусна відстань об'єктива і розмір матриці.

Вертикальний і горизонтальний кути огляду камери різні, оскільки ширина і висота її матриці відмінні.

Вертикальний кут визначається як:

$$\alpha_v = 2 \arctg \frac{v}{2f}, \quad (9)$$

де  $v$  – висота матриці (мм);  $f$  – фокусна відстань об'єктива (мм).

Аналогічно, горизонтальний кут можна визначити як:

$$\alpha_h = 2 \arctg \frac{h}{2f}, \quad (10)$$

де  $h$  – ширина матриці (мм).

Переважно, крім «коридорного» формату матриці, горизонтальний кут огляду камери є більшим за вертикальний. З огляду на це з метою виконання поставлено завдання необхідне забезпечення такої умови:

$$\theta \geq 2 \arctd \frac{h}{2f}. \quad (11)$$

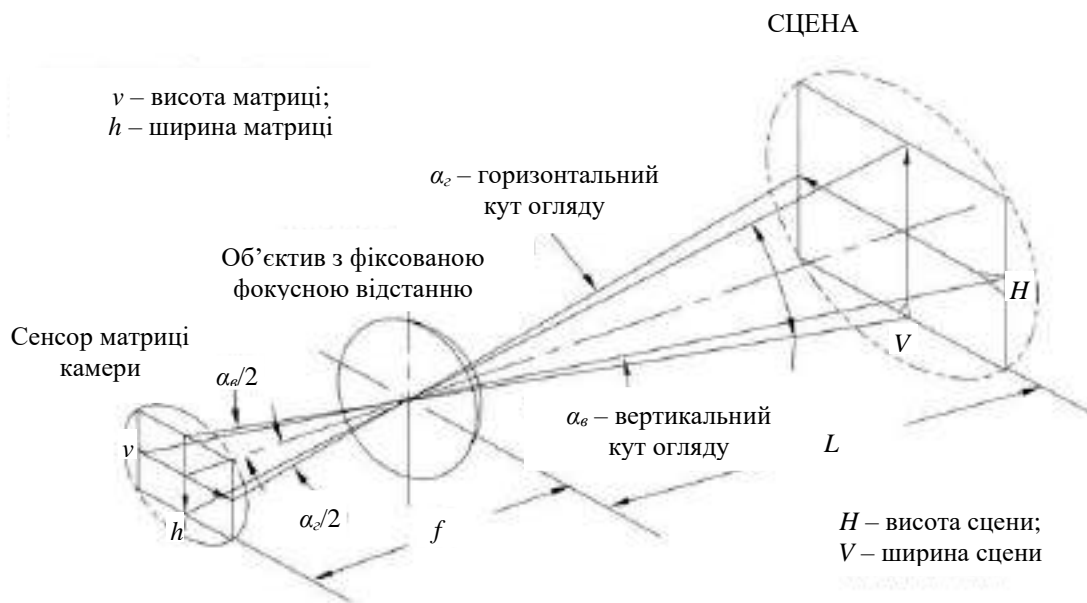


Рис. 3. Оптична схема отримання зображення на матриці відеокамери:  
 $f$  – фокусна відстань,  $L$  – відстань до об'єкта спостереження,  $\alpha$  – кут огляду

Для того, щоб відображення зони об'єкта спостереження повністю потрапляло на поверхню матриці за шириною, повинна виконуватись рівність:

$$\frac{f}{h} = \frac{L}{H}. \quad (12)$$

Звідси:

$$f = h \frac{L}{H}. \quad (13)$$

У свою чергу, лінійне поле зору стосовно відеокамери з фокусною відстанню  $f$  і шириною матриці  $h$ , віддаленої від об'єкта спостереження на відстань  $L$ , можна визначити як:

$$H = L \frac{f}{h}. \quad (14)$$

**Висновки.** Використовуючи вище наведені залежності можна встановити узгодженість параметрів відеокамер і освітлювачів, що дозволить підвищити ефективність ССТV за недостатнього освітлення зони спостереження.

Щоб обрати необхідний ІЧ освітлювач, відповідно до конкретної оперативної задачі, потрібно встановити відстань на якій потрібно її вирішувати і за залежністю (7) визначити потужність  $P_{opt}$  освітлювача та забезпечити виконання умови (11) освітлення зони спостереження.

За результатами проведеної роботи сформовано наступні рекомендації із застосування ІЧ освітлювачів:

1. Застосування освітлювача з довжиною хвилі 940 нм доцільне у випадках прихованого відеоспостереження на відносно коротких дистанціях. Ці освітлювачі мають приблизно вдвічі меншу потужність випромінювання від звичайних ІЧ освітлювачів внаслідок низького ККД;

2. На середніх і далеких дистанціях відеоспостереження потрібно використовувати ІЧ освітлювачі з довжиною хвилі 850 нм;

3. Застосування ІЧ освітлювачів з довжиною хвилі 880 нм є доцільним на середніх і малих дистанціях.

Багато унікальних використань відеокамер з вбудованим потужним ІЧ освітлювачем. У таких камер тепло від функціонуючої світлодіодної матриці буде відведене у внутрішній простір корпусу і додати теплового шуму матриці.

Відеокамера з вбудованим ІЧ освітлювачем, яка оснащена варіофокальним об'єктивом, матиме ефективність роботи підсвічування тільки при куті огляду об'єктива, який відповідає куту випромінювання світлодіодів. В усіх інших випадках нівелюється дальність спостереження. Рішенням такої проблеми є використання виносних ІЧ освітлювачів у вигляді прожекторів, що віддалені від відеокамери і мають відповідні характеристики, які відповідають узгодженості виставленого кута огляду об'єктива і необхідних умов освітленості сцени.

На основі вище викладеного можна констатувати, що камери з вбудованим ІЧ освітленням з інженерної точки зору несе більше негативу ніж позитиву і оптимальним варіантом забезпечення необхідного рівня освітлення – використання ІЧ освітлювачів у вигляді прожекторів.

### Список використаних джерел

1. Гедзберг Ю. М. Охранное телевидение / Ю. М. Гедзберг. М. : Горячая линия - Телеком, 2005. – 312 с.
2. Владо Демьяновски. Библия видеонаблюдения / Владо Демьяновски ; пер. с англ. А. А. Колумыйцев. – 3-е изд. – М. : Секьюрити Фокус, 2020. – 470 с.
3. Уваров Н. Е. Секреты высокой чувствительности ТВ камер / Н. Е. Уваров // Алгоритм безопасности. – 2002. – № 6. – С. 14–18.
4. Чура Н. И. Инфракрасная подсветка при теленаблюдении [Электронный ресурс] / Н. И. Чура // Специальная техника. – 2000. – № 1. – Режим доступа: <https://web.archive.org/web/20070206103428/http://st.ess.ru/publications/articles/chura/chura.htm>.
5. Чура Н. И. Мифы и реальность ночного видеонаблюдения [Электронный ресурс] / Н. И. Чура // Специальная техника. – 2005. – № 3. – Режим доступа: [https://web.archive.org/web/20070206102705/http://st.ess.ru/publications/5\\_2003/chura/chura.htm](https://web.archive.org/web/20070206102705/http://st.ess.ru/publications/5_2003/chura/chura.htm).
6. Довжиков Д. А. Телевизионные камеры день/ночь. Почему они разные? Тест драйв [Электронный ресурс] / Д. А. Довжиков, А. Н. Куликов // Системы безопасности и связи. – Режим доступа: <https://www.yashka.su/articles/37/>.

7. Кухаренко М. Современные тенденции развития и применения инфракрасной подсветки в камерах видеонаблюдения / М. Кухаренко // Технологии защиты. – 2010. – № 5. – Режим доступа: <http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=516&uid2=633&uid3=646>.

8. Гонта А. С. Практическое пособие по видеонаблюдению / А. С. Гонта. – М. : Издательская группа АСТ, 2017. – 188 с.

9. Чура Н. И. Российские ИК-осветители: Анализ заявленных характеристик / Н. И. Чура // Каталог “ССТV”-2009. – М. : Агентство Монитор, 2009. – С. 37–39.

### References

1. Gedzberg, Yu.M. (2005). *Okhrannoe tevidenie [Security television]*. Goryachaia liniia - Telekom.  
 2. Vlado Demianovski. (2020). *Bibliia videonabliudeniia [CCTV Bible]*. (3 ed.). Sekyuriti Fokus.  
 3. Uvarov, N.E. (2002). Sekrety vysokoy chuvstvitelnosti TV kamer [Secrets of high sensitivity of TV cameras]. *Algoritm bezopasnosti – Security algorithm*, (6), 14–18.

4. Chura, N.I. (2000). Infrazrasnaya podsvetka pri telenablyudenii [Infrared illumination for TV surveillance]. *Spetsialnaya tekhnika – Special equipment*, (1). <https://web.archive.org/web/20070206103428/http://st.ess.ru/publications/articles/chura/chura.htm>.

5. Chura, N.I. (2005). Mify i realnost nochnogo videonabliudeniia [Myths and reality of night video surveillance]. *Spetsialnaia tekhnika – Special equipment*, (3). [https://web.archive.org/web/20070206102705/http://st.ess.ru/publications/5\\_2003/chura/chura.htm](https://web.archive.org/web/20070206102705/http://st.ess.ru/publications/5_2003/chura/chura.htm).

6. Dovzhikov, D.A., & Kulikov, A.N. (n.d.). Televizionnye kamery den/noch. Pochemu oni raznye? Test draiv [Television cameras day / night. Why are they different? Test drive]. *Sistemy bezopasnosti i sviazi – Security and communication systems*. <https://www.yashka.su/articles/37>.

7. Kukharenko, M. (2010). Sovremennye tendentsii razvitiia i primeniia infrazrasnoi podsvetki v kamerakh videonabliudeniia [Modern trends in the development and use of infrared illumination in CCTV cameras]. *Tekhnologii zashchity – Protection technologies*, (5). <http://www.tzmagazine.ru/jpage.php?uid1=516&uid2=633&uid3=646>.

8. Gonta, A.S. (2017). *Prakticheskoe posobiye po videonabliudeniuu [Practical guide to video surveillance]*. Izdatelskaia gruppa AST.

9. Chura, N.I. (2009). Rossiiskie IK-osvetiteli: Analiz zaiavlennykh kharakteristik [Russian IR illuminators: Analysis of the declared characteristics]. *Katalog “ССТV” – Catalog “ССТV”* (pp. 37–39). Agentstvo Monitor.

Отримано 05.07.2021

UDC 004.3+004.02+004.5

**Taras Terletskyi<sup>1</sup>, Oleh Kaidyk<sup>2</sup>, Vitalii Ptashenchuk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Electronics and Telecommunications Department  
Lutsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

**E-mail:** [t.terletskyi@lntu.edu.ua](mailto:t.terletskyi@lntu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4114-0734>

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor,  
Associate Professor of Automation and Computer Integrated Technologies Department  
Lutsk National Technical University (Lutsk, Ukraine)

**E-mail:** [o.kaidyk@lntu.edu.ua](mailto:o.kaidyk@lntu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3620-270X>

<sup>3</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor,  
Associate Professor of Automation and Computer Integrated Technologies Department  
Lutsk National Technical University (75 Lvivska str., Lutsk, 43018, Ukraine)

**E-mail:** [v.ptashenchuk@lntu.edu.ua](mailto:v.ptashenchuk@lntu.edu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1570-7570>

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF VIDEO SURVEILLANCE SYSTEM BY HARMONIZING LIGHTING PARAMETERS OF LIGHTERS AND VIDEO CAMERAS

*The video surveillance system (CCTV) should provide round-the-clock control of all necessary areas of the object of protection, and in the dark of the day requires the use of specialized lighting. The solution of a certain type of operational problem related to the system, in case of insufficient natural light, also depends on the validity of the lighting characteristics of the luminaires.*

*Due to the inconsistency of the lighting characteristics of video cameras and illuminators, there is a decrease in the depth of vision and the angle of view of the camera and the appearance of "dead" zones. This negatively affects the efficiency of the system. The solution to this problem requires appropriate engineering techniques. On its basis, it will be possible to achieve harmonization of lighting parameters of illuminators and video cameras, which will increase the informativeness of the video surveillance system in case of insufficient natural light.*

*Analysis of research and publications on improving the efficiency of CCTV in the dark showed that the choice of special lighting has received little attention.*

*The analysis of the available tests of video cameras and illuminators indicated a discrepancy between the viewing angles of the camera and the angles of illumination and the depth of vision of the camera with the lighting range, which is relevant to increase the informativeness of video surveillance in low natural light.*

*The purpose of this article is to analyze the lighting parameters of video cameras and illuminators. This is necessary for a reasonable choice of the latter when designing a video surveillance system.*

*Based on the functional analysis of the system, the method of determining the necessary lighting parameters of the illuminator depending on the parameters of the video camera is presented in the work. Recommendations for their use depending on the nature of the system and the type of operational task are formulated.*

*In the work for the first time the engineering technique of definition of lighting parameters of illuminators depending on characteristics of video cameras is offered.*

**Keywords:** matrix; video camera; spectral characteristic; backlight range; viewing angle; equivalent illumination.

*Fig.: 3. References: 9.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-160-163

УДК 004.42

**Сергій Точилін**

кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж

Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

E-mail: [tochnozp@gmail.com](mailto:tochnozp@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2010-6358>

## КОМПЛЕКС ВІРТУАЛЬНИХ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ ІЗ МЕХАНІКИ ТА МОЛЕКУЛЯРНОЇ ФІЗИКИ

При переході на дистанційну форму навчання, який зумовлений пандемією COVID-19, актуальною задачею є перенос лабораторних робіт (ЛР) з природничо-наукових дисциплін на комп'ютери студентів у вигляді програм, що імітують їхню роботу. У цій статті, яка має науково-методичний характер, показано, що для імітації ЛР з природничо-наукових дисциплін (зокрема, з фізики), доцільно використовувати кросплатформні комплекси з пакетів віртуальних лабораторних робіт, які розроблені за допомогою мов програмування Java і JavaScript, а також мови розмітки HTML5, та забезпечують виконання віртуальних ЛР при різній конфігурації програмного забезпечення комп'ютера користувача.

**Ключові слова:** Java; JavaScript; HTML5; фізика; віртуальна лабораторна робота.

Рис.: 3. Бібл.: 4.

**Актуальність теми дослідження.** В умовах переходу на дистанційну форму навчання, який зумовлений пандемією COVID-19, актуальним завданням є перенос лабораторних робіт (ЛР) з природничо-наукових дисциплін на персональні комп'ютери студентів у вигляді програм, що імітують їх функціонування. При цьому подібні програми повинні враховувати особливості виконання та обробки отриманих даних на основі методичних вказівок, які розроблені для реальних робіт.

**Постановка проблеми.** Актуальною проблемою є розробка кросплатформних віртуальних ЛР з механіки та молекулярної фізики, зокрема, для імітації лабораторних робіт, включених у навчальний процес Національного університету (НУ) «Запорізька політехніка», які сумісні з програмним забезпеченням (ПЗ) комп'ютера користувача (або вимагають його оновлення за допомогою ПЗ, яке вільно поширюється).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В освітньому процесі використовують додатки на основі мов програмування Java і JavaScript, а також мови розмітки HTML5 (див., наприклад, [1-3]). З їх допомогою створюють кросплатформні віртуальні навчальні демонстрації та ЛР, які при роботі застосовують комп'ютерну анімацію.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Додатки з анімацією в багатьох випадках створюють на HTML5 і JavaScript (HTML5/JS), використовуючи елемент canvas мови розмітки. Вони запускаються в більшості сучасних браузерів, відповідно до [4], в Firefox 3.5, Safari 3.2, Chrome 9, Opera 10.6, iOS Safari 3.2, Android Browser 2.1 і їх більш нових версіях. У той час ці HTML5/JS-додатки не працюють у браузері Internet Explorer з версією нижче 9.

Для виконання Java-програм - Desktop-додатків та аплетів на комп'ютері повинен бути встановлений набір програм та пакетів класів Java Runtime Environment (JRE) або інструментальний набір Java Developer's Kit (JDK), який підтримує їхню роботу.

Desktop-додатки працюють під керуванням операційної системи.

Java аплеті функціонують при використанні браузера Internet Explorer. Після установки плагіна IE Tab, вони запускаються в Chrome. Крім того, аплеті можуть виконуватися без браузера за допомогою утиліти AppletViewer з набору JDK, що підтримує їх роботу.

При цьому розробка, для імітації лабораторних робіт фізичного практикуму закладів освіти, комплексів віртуальних робіт з ідентичних по функціональності окремих пакетів зі складом першого з них у вигляді Java Desktop-програм, другого - Java аплетів, третього - HTML5/JS-додатків, які дозволяють користувачу після установки одного з пакетів (або пакета і додаткового ПЗ, що вільно поширюється) на робочий комп'ютер виконувати ЛР, є актуальною проблемою.

**Постановка завдання.** Розробити кросплатформний комплекс віртуальних ЛР для імітації робіт із механіки та молекулярної фізики, які включені в навчальний процес НУ «Запорізька політехніка». При цьому повинна бути забезпечена можливість виконання



віртуальних робіт безпосередньо після їх завантаження на комп'ютер користувача (або при додатковому мінімальному доступному оновленні його ПЗ).

**Виклад основного матеріалу.** Для імітації лабораторних робіт з механіки та молекулярної фізики, які включені у навчальний процес НУ «Запорізька політехніка», за допомогою Java, JavaScript і HTML5 був розроблений кросплатформний комплекс віртуальних ЛР, що складався із трьох пакетів. Перший з них формувався з робіт на основі Java Desktop-програм, другий – Java аплетів, третій - HTML5/JS-додатків.

Java-програми використовували Swing-технологію, для їх функціонування потрібен набір JDK (JRE), який підтримує Desktop-програми на основі класу JFrame або аплету на основі - JApplet.

У наш час на комп'ютерах у багатьох випадках уже встановлені сучасні браузерери, які дозволяють роботу HTML5/JS-додатків. Ці браузерери, а також відповідні версії JDK і JRE є ПЗ, яке вільно поширюється і може бути встановлено на комп'ютер користувача в разі відсутності.

Для ЛР з однією назвою Java-програми з різних пакетів мали ідентичний інтерфейс користувача (ІК), при цьому подібний по функціональності ІК був і у роботі створеної на основі HTML5 і JavaScript з використанням елемента canvas мови розмітки.

Розроблені додатки для лабораторних робіт одного найменування мали однакові алгоритми функціонування. Вони імітували реальні роботи та дозволяли користувачу для кожної з них одержати необхідні дані (для 20 варіантів) і виконати обчислення, які описані у відповідних методичних вказівках для ЛР з механіки й молекулярної фізики, що використовуються в навчальному процесі НУ «Запорізька політехніка».

У той час Java-додатки, у порівнянні з аналогічними, реалізованими на HTML5 та JavaScript, були більш наочними, краще відображали динаміку фізичних процесів, тому що мали більш якісну анімацію при виконанні віртуальних робіт.

Ця відмінність обумовлена особливостями мови програмування JavaScript [4].

Як приклад, на рис. 1-3 зображені вікна Java Desktop-програми та аплету, а також вікно браузера з HTML5/JS-додатком, при виконанні ЛР «Вивчення основного закону динаміки обертового руху», відповідно.

На рисунках не відображені вказівки для виконання роботи (вони приховані через зменшення розмірів вікон).

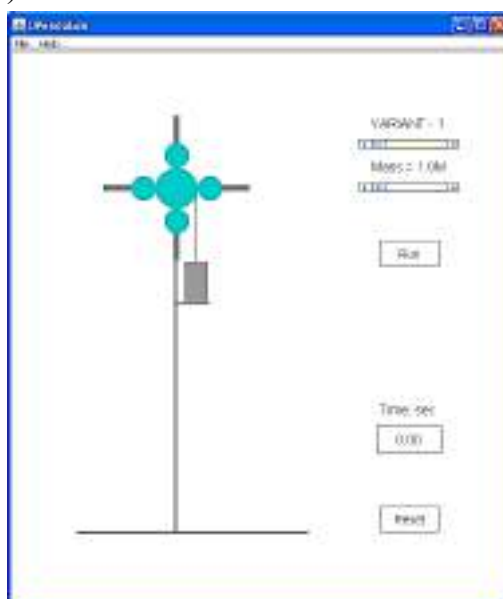


Рис. 1. Вікно Java Desktop-програми на початку виконання віртуальної лабораторної роботи «Вивчення основного закону динаміки обертового руху»

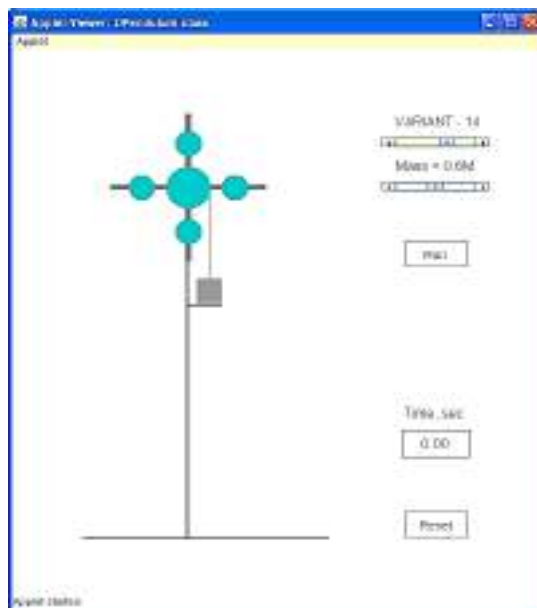


Рис. 2. Вікно Java аплета в процесі виконання віртуальної лабораторної роботи «Вивчення основного закону динаміки обертального руху»

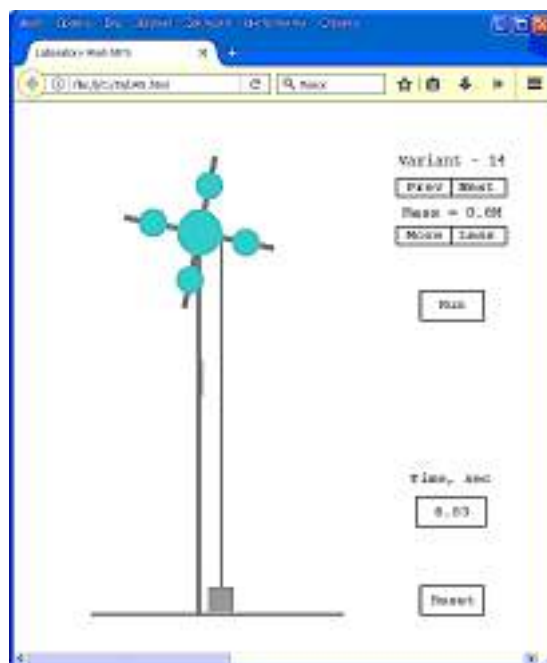


Рис. 3. Вікно браузера в процесі виконання віртуальної лабораторної роботи «Вивчення основного закону динаміки обертального руху», реалізованої HTML5/JS-додатком

**Висновки.** Таким чином, у цій роботі за допомогою мов програмування Java і JavaScript, а також мови розмітки HTML5, для лабораторних робіт із фізичного практикуму НУ «Запорізька політехніка», розроблено кросплатформний комплекс віртуальних робіт з механіки і молекулярної фізики, який забезпечує їх виконання при використанні встановленого на комп'ютері користувача програмного забезпечення (або його оновлення за допомогою ПЗ, що вільно розповсюджуються).

При цьому ЛР, реалізовані на Java, у порівнянні з аналогічними, розробленими на HTML5 та JavaScript, були більш наочними, краще імітували фізичні процеси.

Надалі на основі Java, JavaScript та HTML5 передбачається створити комплекси віртуальних лабораторних робіт з метою імітації реальних ЛР для природничо-наукових дисциплін, які включені в освітній процес НУ «Запорізька політехніка».

### Список використаних джерел

1. Interactive Simulations for Science and Math [Electronic resource]. – Assed mode: <https://phet.colorado.edu/>.
2. Apps on Physics [Electronic resource]. – Assed mode: <https://www.walter-fendt.de/html5/phen/>.
3. Виртуальные лаборатории для обучения физике / С. И. Лапта, В. Н. Сергеев, П. Л. Токарев иа ін. // Наукові записки Бердянського державного педагогічного університету. Серія: Педагогічні науки. – 2017. – Вип. 2. – С. 92–98.
4. Lamberta B. Foundation HTML5 Animation with JavaScript / Lamberta Billy, Peters Keith. – Apress, 2011, 584 p.

### References

1. Interactive Simulations for Science and Math. <https://phet.colorado.edu/>.
2. Apps on Physics. <https://www.walter-fendt.de/html5/phen/>.
3. Lapta, S. I., Sergeev, V. N., Tokarev P. L., Mirko, V. A., Litvinov, Yu.V. (2017). Virtualnye laboratorii dlia obucheniiia fizike [Virtual laboratories for training physics]. *Naukovi zapysky Berdyanskoho derzhavnoho pedahohichnoho universytetu – Scientific notes of Berdyansk State Pedagogical University*, 2, 92–98.
4. Lamberta, B., Peters, K. (2011). *Foundation HTML5 Animation with JavaScript*. Apress.

Отримано 21.07.2021

UDC 004.42

### *Sergei Tochilin*

PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of Department of Computer Systems and Networks  
Zaporizhzhia Polytechnic National University (Zaporizhzhia, Ukraine)  
E-mail: [tochnozp@gmail.com](mailto:tochnozp@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2010-6358>

## COMPLEX OF VIRTUAL LABORATORY WORKS ON MECHANICS AND MOLECULAR PHYSICS

*In the context of the transition to distance education due to the COVID-19 pandemic, an urgent task is to transfer laboratory work (LW) in natural sciences to students' computers in the form of programs that imitate their work.*

*The educational process uses applications based on the Java and JavaScript programming languages, as well as the HTML5 markup language.*

*To imitate LW in natural sciences (in particular, in physics), it is advisable to use cross-platform complexes from packages of virtual laboratory works that are developed using the Java and JavaScript programming languages, as well as the HTML5 markup language, and provide the execution of virtual LW with different configuration of the software of the user's computer.*

*In this article, which has a scientific and methodological nature, there was the task to develop a cross-platform complex of packages of virtual laboratory work, which allows the user, after installing one of the packages on the computer (or a package and additional software that is freely distributed), to proceed with the implementation virtual LW on mechanics and molecular physics, included in the educational process of the Zaporizhzhia Polytechnic National University.*

*The features of the functioning of applications of a virtual LW complex, which solves the problem, are considered. Examples of using the developed software are given.*

*With the help of Java, JavaScript and HTML5, a complex of virtual laboratory works on mechanics and molecular physics has been developed, which ensures their execution on different computer platforms. In the future, it is planned to create complexes of virtual LW in various natural science disciplines, with works that imitate real ones used in the educational process based on Java, JavaScript and HTML5.*

**Keywords:** Java, JavaScript, HTML5, physics, virtual laboratory work.

*Fig. 3. References: 4.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-164-178

UDC 004.942:004.738:004.722

**Volodymyr Tigarev<sup>1</sup>, Yuliia Babych<sup>2</sup>, Oleksii Lopakov<sup>3</sup>,  
Volodymyr Kosmachevskiy<sup>4</sup>, Yuliia Barchanova<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD Engineering, Assistant Professor of Design Information Technologies and Design Department  
Institute of Industrial Technologies, Design and Management of Odessa Polytechnic State University (Odessa, Ukraine)

**E-mail:** [volodymyr\\_t@ukr.net](mailto:volodymyr_t@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8492-6633>

<sup>2</sup>PhD Engineering, Assistant Professor of Design Information Technologies and Design Department  
Institute of Industrial Technologies, Design and Management of Odessa Polytechnic State University (Odessa, Ukraine)

**E-mail:** [juliakosenko1987@gmail.com](mailto:juliakosenko1987@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9966-2810>

<sup>3</sup>Senior Lecturer of Design Information Technologies and Design Department  
Institute of Industrial Technologies, Design and Management of Odessa Polytechnic State University (Odessa, Ukraine).

**E-mail:** [kedroess9@gmail.com](mailto:kedroess9@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6307-8946>

<sup>4</sup>Assistant of Design Information Technologies and Design Department  
Institute of Industrial Technologies, Design and Management of Odessa Polytechnic State University (Odessa, Ukraine).

**E-mail:** [cldlmgh@gmail.com](mailto:cldlmgh@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3234-2297>

<sup>5</sup>Senior Lecturer of Design Information Technologies and Design Department  
Institute of Industrial Technologies, Design and Management of Odessa Polytechnic State University (Odessa, Ukraine).

**E-mail:** [vbybgen@ukr.net](mailto:vbybgen@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9020-0967>

## VIRTUAL REALITY SIMULATION SERVICE ON SDN SOFTWARE UNDER A LIMITED RESOURCE 5G MOBILE TERMINAL

*This article develops a hierarchical structure of data placement in the augmented reality service system and examines the advantages of using this structure.*

*The article develops and investigates a set of models and methods for virtual reality, including models of VR services, the interaction of the main elements in the provision of VR services and a model of a mobile user of a VR service.*

**Keywords:** Virtual Reality (VR); D2D (Device-to-Device); 5G; server request processing time; M/G/1 queuing system; Pollachek-Khinchin formula; RTT round-trip delay; Internet of Things; multilevel mobile edge computing (MM-MEC).

*Fig.: 6. References: 28.*

**Urgency of the research.** Virtual reality services are the next step in the development of mobile services. The combination of the properties of the terminal's mobility, its computing capabilities, ways of interacting with the environment (recognizing video, sound and tactile images, calculating coordinates and orientation in space), as well as a modern communication network allow realizing a qualitatively new level of services with a high degree of interactivity [1-3]. In particular, these are augmented reality services. Today, such services as interactive maps of cities and towns, the starry sky, various kinds of guidebooks, applications for ordering goods and services are already widely known and popular. However, if we imagine how much traffic all these applications generate in the network, it becomes obvious that it is necessary to change the existing network structures and traffic distribution mechanisms in the network. When providing augmented reality services, one can often observe close interaction with IoT devices, which also generate quite an impressive amount of traffic [2; 4]. It is clear that the structure of the service, in which the call goes to some server in the network, is not applicable with so many devices. Thus, knowing the geographic coordinates of the user, it is possible to upload information about the surrounding objects to his terminal using, among other things, free terminals of other users or other devices located in the user's area of perception. This reduces the response time of the system to changes in the user's environment, which significantly increases the timeliness of displaying information about objects. For the proposed new structure, a method for unloading the traffic of augmented reality applications has been developed, which allows for the energy efficient operation of the network when operating such applications as streaming video with a 360° view, web applications, and multiplayer games [5]. For the proposed method, modeling and performance evaluation were carried out for various scenarios.

It should be noted that the issue of identifying objects of augmented reality and the Internet of Things also affects the quality of the provision of services and the structure of the organization of the service. The advantage and convenience for users of most augmented reality applications is the ability to visually identify objects. It means that the user wearing augmented reality glasses looks at an object and is provided with information about this object or its state changes, so the user does not perform any actions to obtain information and control the object. This paper proposes a system for identifying devices of the Internet of Things using virtual reality technology and cloud services. For the developed system, a model network was created, on the basis of which the assessment of the system's operation and compliance with the quality indicators of perception were carried out.

**Target setting.** The main tasks include the development of a model of behavior of a mobile user of a virtual reality service, moving in the environment of devices of the Internet of Things, which differs from the known ones in that the user is presented as a queuing system  $M / G / 1$ , and the incoming stream is formed from available to the user services, including video, text, graphics, speech, music, tactile sensations, etc., which makes it possible to calculate such systems using the queuing theory apparatus.

**Actual scientific researches and issues analysis.** There are many theoretical and experimental works in the field of 5G communication networks, which characterize 5G as communication networks with ultra-high reliability and ultra-low latency [6]. Scientists have made a decisive contribution to the study of such networks. Among them are V. M. Vishnevsky, Yu. V. Gaidamak, B. S. Goldstein, V. G. Kartashevsky, R. V. Kirichek, A. E. Kucheryavy, E. A. Kucheryavy, A. I. Paramonov, A. P. Pshenichnikov, V. K. Saryan, S. N. Stepanov, K. E. Samuilov, M. A. Sievers, N. A. Sokolov, V. O. Tikhvinsky, M. A. Schneps-Schneppe, M. Dohler, G. Fettweis, J. Hosek, A. A. Ateya, M. Maier, M. Z. Shafiq and others.

The problems of resource allocation in heterogeneous 5G communication networks and traffic offloading are among the most significant for the planning of networks and their sustainable operation [7-8]. The works of S. A. Andreeva, A. I. Vybornova, M. O. Kolbaneva, E. A. Kucheryavy, A. E. Kucheryavy, K. E. Samuylova, A. K. Kanaeva, A. V. Roslyakova, A. S. A. Muthanny, A. M. Tyurlikova, A. Aijaz, A. A. Ateya, M. Dohler, G. Fettweis, M. Simsek, R. S. Schmoll and others are very well-known this area of research. At the same time, almost all work in the field of resource allocation and traffic offloading is devoted to machine-to-machine interactions M2M (Machine-to-Machine) and the Tactile Internet [8].

Obviously, in the works of these authors there was no methodology for representing user traffic, based on three interrelated models: a service space model, a user perception area model, which is a part of the service space, and a mobile user behavior model characterizing changes in his position and activity area. The model of behavior of a mobile augmented reality user includes not only the relatively well-known characteristics from traffic studies in 5G communication networks, such as device density, but also the previously unexplored characteristics of the user's viewing angle and the angular rate of rotation, which have a very significant impact on the quality of service parameters and the quality of perception for the user of augmented reality [8; 9; 10].

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The problems of resource allocation in heterogeneous 5G communication networks and traffic estimation are among the most significant for the planning of networks and their sustainable operation [11]. There are some well-known works of E. A. Kucheryavy, A. E. Kucheryavy, K. E. Samuylova, A. K. Kanaeva, A. V. Roslyakova, A. S. A. Muthanny, A. M. Tyurlikova, A. Aijaz, A. A. Ateya, M. Dohler, G. Fettweis, M. Simsek, R. S. Schmoll and others in this area of research. At the same time, almost all works in the field of resource allocation and traffic estimation are devoted to machine-to-ma-

chine interactions M2M (Machine-to-Machine) and the Tactile Internet [12]. Only in collaboration between R. S. Schmoll with co-authors, the issues of offloading virtual reality traffic for gaming applications for 5G networks are considered. At the same time, a multi-level system of boundary computing is not used and such key augmented reality applications as circular video streams, multiplayer games and web applications are not considered [12-14].

Also, a unified methodology for representing virtual reality traffic has not been developed and a complex of models and methods for assessing traffic has not been presented, and the assessment of the quality of perception of virtual reality applications for a user has not been investigated.

**The research objective.** The purpose of the article is achieved by solving the following tasks:

- analysis of the current state of affairs in the field of research of communication networks of the fifth generation and communication networks 2030, the role and place of applications of the augmented reality in the development of networks and communication systems;

- development of the classification of augmented reality applications, taking into account Tactile Internet and Internet Skills;

- development of a methodology for presenting augmented reality user traffic;

- development of a model of the augmented reality user service space;

- development of a model of the user's perception area augmented reality;

- simulation modeling of multimedia content transmission for virtual reality applications based on WI-FI network of mesh topologies (mesh and ad-hoc) in the OMNET + software environment in order to calculate "bottlenecks" in mesh topologies AD-HOC and Mesh.

**The statement of basic materials.** Service implementation structure. Virtual reality services allow the user to receive the necessary information in a timely manner. At the same time, its selection is performed automatically based on data on its state, for example, its position in space (geographical coordinates), on a map and a plan of the territory (based on geolocation data), on the location of a vehicle, etc. As shown in [15; 16], the implementation of the service requires the organization of data exchange with the service server and / or directly with devices located in the communication area of the subscriber terminal, using D2D technologies [17]. In this case, the time between the request and the delivery of data should not exceed a certain value at which the user still does not feel a decrease in the quality of the service. This time is determined by the time: the request is generated (depends on the implementation of the service), the request is delivered from the terminal to the service server, the request is processed, the data is delivered from the service server to the terminal, and the information is presented to the user. They can be conditionally divided into three groups: the time determined by the processing of data by the user's terminal, the time of data delivery through the communication network, and the time of data processing by the server. In general, these components are mutually dependent.

The process of forming a data request plays an essential role. The request is formed when the user's environment (or the user's state) changes, which can be judged by changing some parameters. These parameters can be sensor data, for example, geographic coordinates, the position of the terminal in space, acceleration, as well as the results of analyzing the image or sound received from the cameras and microphones of the terminal. For example, if the data request is generated based on the results of image recognition (video captured by the terminal camera), then the image recognition functions can be implemented either in the terminal application or on the service server. In the first case, with low computing performance of the terminal, time will be spent on performing the recognition functions by the terminal, in the second - on transmitting video through the communication network and the time it is processed by the server. Obviously, the choice of the first or second option depends on terminal performance, bandwidth (PS) of the communication network, server performance and load, i.e. there is a problem of choosing the

optimal option for implementing the service. The model described here can be extended by introducing additional parameters, for example, the dependence of the processing time of a request by a service server on the amount of data (database size) and the intensity of requests. In this case, it makes sense to cluster data and organize local service servers.

Considering a promising 5G network, D2D communication technology, and the use of SDN (Software-Defined Network, software-defined networks), the structure of the service implementation which is shown in (Fig. 1) can be made.

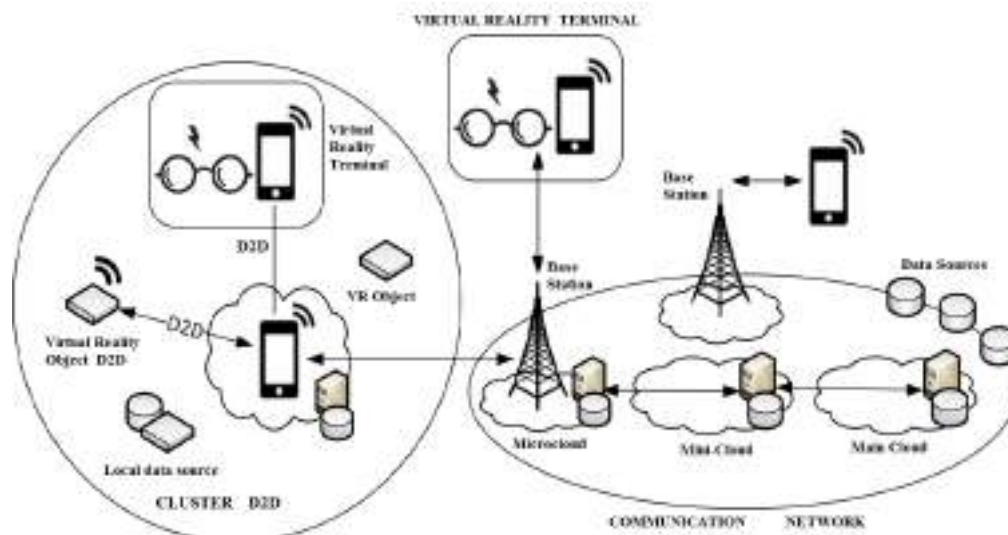


Fig. 1. Possible structure for the implementation of the Virtual Reality service

We believe that the communication network is built using the SDN architecture, in which there are data processing centers (DPC) of various levels [18], which makes it possible to localize traffic and data "closer" to users. In the diagram, these data centers are depicted as micro, mini and base clouds. In a real network, there may be as many such levels as will be necessary for the best implementation of the service. The base station of the network interacts directly with the AR terminal or with a mobile terminal acting as a local cloud, interacting with the AR terminal using D2D technologies, which increases the efficiency of using the radio frequency spectrum [18; 19]. Here, a cloud is understood as a certain amount of computing resources and memory resources that can be used to organize a server and a database (DB) of a service.

As will be shown below, the provision of a service can be implemented at several levels of such servers and databases, which allows, due to the localization of data and traffic, to reduce the requirements for the network's network and to increase the quality indicators of the service. Below, the problem of data clustering and localization of their processing is considered as a problem of resource allocation.

**Service model.** To build a service model, it is necessary to link the indicators (parameters) characterizing the quality of its provision with the parameters of the communication system. As the main indicator, we will choose the reaction time to a change in the user's environment. We will assume that this time includes all components: the time of recognition of the change and preprocessing by the mobile terminal application  $t_r$ , the time of data transmission (request) to the service server through the communication network  $t_q$ , the processing time of the request by the service server  $t_s$ , the data delivery time through the communication network  $t_a$  and time of presentation of information to the user by the mobile terminal application  $t_d$ . Augmented reality service presentation model is presented in (Fig. 2).

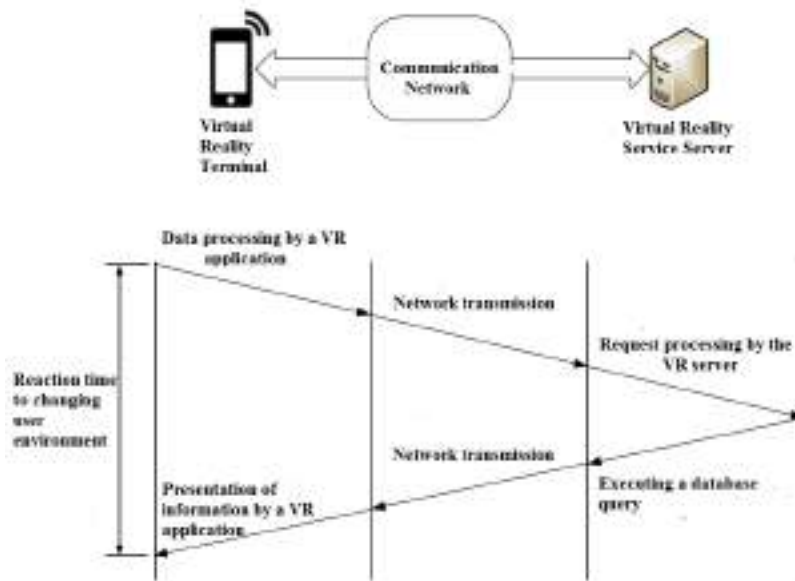


Fig. 2. Virtual Reality Service Delivery Model

The total time can be represented by the arithmetic sum of all components according to the formula (1). It will be assumed that each of them is a random variable. Then, making the assumption about their independence, the average value for the reaction time will be determined as

$$\bar{\tau} = \bar{t}_r + \bar{t}_q + \bar{t}_s + \bar{t}_a + \bar{t}_q. \tag{1}$$

Let's consider each of the components separately. The time for recognizing a change in the user's environment  $t_r$ , in turn, includes all the components associated with detecting this change and collecting information necessary to form a request sent to the service server. Change detection can be realized by analyzing data from various sensors and devices (sensors of the earth's magnetic field, illumination, acceleration, GPS receiver, touch screen, etc.), as well as video cameras and microphones. The analysis can include both relatively simple tasks of comparing several numerical values, and resource-intensive tasks of pattern recognition. Therefore, the numerical value of  $t_r$  depends on the type of service, the method of its implementation and the computing resources of the mobile terminal. Thus, the resources of the mobile terminal affect the quality of the service through the value  $t_r$ . It will be assumed that there is a certain functional relationship between this time and the computing resources of the mobile terminal.

$$\bar{t}_r = f_r(O). \tag{2}$$

In formula (2)  $O$  is a parameter characterizing the performance of a mobile terminal, for example, the number of operations or instructions performed per second, the clock speed of the processor, the amount of memory, or some complex metric. The time of transmission of the request to the server of the service  $t_q$  determined by the volume of transmitted data and the PN of the route between the mobile terminal and the server of the service  $C$ . A numerical estimate of this time under the assumption that time is spent only on data transmission (PD), i.e. without taking into account the losses for waiting for transmission at the nodes of the route can be obtained as

$$\bar{t}_q = f_q(C) = \frac{\bar{v}_q}{C}. \tag{3}$$

In the formula (3)  $C$  is the bandwidth of the route (bit / s);

$\bar{v}_q$  - Average amount of data transferred per request (bits).

Average amount of data per request  $\bar{v}_q$  depends on the type of service and the way it is implemented. For example, if an analysis of images received from the device's video camera is required to identify a change in the environment, then this analysis can be performed both by means of a mobile terminal application and by a server. In the first case, the request will contain relatively



little data, which are only identifiers of objects in the service database, information about which is required to be provided. In the second case, it is necessary to transfer all image data (or several images), the analysis of which must be carried out by means of the service server. Intermediate options are also possible, when only a part of the video data will be sent to the server.

The processing time of the request by the server  $t_s$  is the most complex characteristic, since it depends on many parameters: the time of the analysis of the request data  $\tau_s$ , поступающих данных; the intensity of requests from mobile terminals of users  $\lambda_s$ ; server performance  $\mu_s$ , which, in turn, depends on the size of the database  $n_s$ :

$$\bar{t}_s = f_s(\tau_s, \lambda_s, \mu_s(n_s)). \tag{4}$$

The server serves requests from many users, the service time of which is determined by the request processing time and the waiting time. The server can be described by the QS model, in which the request servicing time is determined by the size of the service database and the server's performance. The technical implementation of the server may be different, so it makes sense to consider it as a QS with general expectation with one G / G / 1 server. Assuming that the flow of incoming requests can be represented by a model of the simplest flow (M / G / 1), the average delay can be described by the Polyachek-Khinchin formula [20]. With this in mind.

$$\bar{t}_s = \frac{\rho_s}{\mu_s(v_s)2(1-\rho_s)} (1 + V_s^2) + \frac{1}{\mu_s(v_s)}. \tag{5}$$

In formula (5), the following parameters are applied:

$\rho_s = \frac{\lambda_s}{\mu_s(n_s)}$  – server load;

$V = \sigma_s \mu_s(v_s)$  – service time variation coefficient.

$\sigma_s^2$  – standard deviation of service time.

The adoption of the simplest flow model is very useful, since it makes it possible to obtain analytical expressions for dependencies, especially when the properties of the real flow are unknown. Server performance, depending on the size of the database DB  $\mu_s(n_s)$ , is also a kind of dependency and is determined by the way the database is implemented. In particular, the most common models describe this dependence as  $\ln(n_s)$  or  $\ln \ln(n_s)$  operations [21], where  $n_s$  is the number of records in the database. Let's take a logarithmic dependence as an example. Taking into account that the service time includes preliminary processing of the request, the average execution time of which  $\tau_s$ , we obtain the expression (6).

$$\mu_s(v_s) = \frac{1}{\eta \ln(v_s) + \tau_s}, \tag{6}$$

where  $\eta$  - execution time per record.

The transmission time of the server response  $t_a$ , as well as the transmission time of the request, is determined by the volume of transmitted data and the PS of the route between the service server and the mobile terminal C. A numerical [21] estimate of this time under similar assumptions can be written as.

$$\bar{t}_a = f_a(C) = \frac{\bar{v}_a}{C}. \tag{7}$$

In formula (7), C is the route PN (bit / s);

$\bar{v}_a$  – the average amount of data transmitted in the server response (bits). The average amount of data in a server response  $\bar{v}_a$  depends on the type of service and the way it is implemented. This data can be transmitted text, raster or vector images, sound, numerical values.

The message submission time  $t_d$  includes all components related to the processing and presentation of the data received by the mobile terminal application. In general, the message can be presented visually: in the form of text, pictograms, video or other images; sound - speech or melody; tactile - vibration. We will assume that there is some functional dependence (8) between the time and the computing resources of the mobile terminal:

$$\bar{t}_d = f_d(O) \tag{8}$$

As can be seen from the models selected above, the response time significantly depends on such parameters as the performance of the mobile terminal, the network communication network and the processing time of the request by the server, which is determined by its performance and load [22; 23]. Below, we propose a method for choosing the structure and parameters of equipment to meet the requirements the reaction time for the Virtual Reality service.

**Method for choosing the network structure and equipment parameters.** Considering the above models, we can say that ensuring an acceptable response time is a problem of choosing the amount of resources (bandwidth, performance and memory), as well as their distribution among the elements of the service system. This is a problem with several variables, the number of which is determined by the models themselves. If we argue from the standpoint of constructing a method of organizing a service, then not all variables may be available for change [24; 25]. For example, if we assume that the performance of the mobile terminal and the characteristics of the server equipment can be taken into account, but cannot be changed within the framework of this problem, then the expression for the response time can be written as.

$$\bar{\tau} = \bar{t}_m + \frac{\sqrt{v_q + v_a}}{c} + \frac{\rho_s}{\mu_s(n_s)2(1-\rho_s)} (1 + V_s^2) + \frac{1}{\mu_s(v_s)}, \quad (9)$$

where  $\bar{t}_m = \bar{t}_r + \bar{t}_a$  - the total delay introduced by the mobile terminal application when processing input data and displaying information. Based on (9), you can write down the complete expression (10) This value depends on the terminal performance and the features of the application [26]. We will assume that it is constant, i.e.

$$\bar{\tau} = \bar{t}_m + \frac{\sqrt{v_q + v_a}}{c} + \frac{\lambda_s}{\mu_s(n_s)2(\mu_s(n_s) - \lambda_s)} (1 + V_s^2) \quad (10)$$

Figure 3 shows the dependence obtained using formula (10) for a different number of records in the database. The figure shows that the reaction time increases according to the  $1/(a-x)$  law. The constant component of time is due to the time of the PD request to the server and the time of its processing by the server. According to the chosen model according to formula (6), the service time also depends on the number of records in the database.

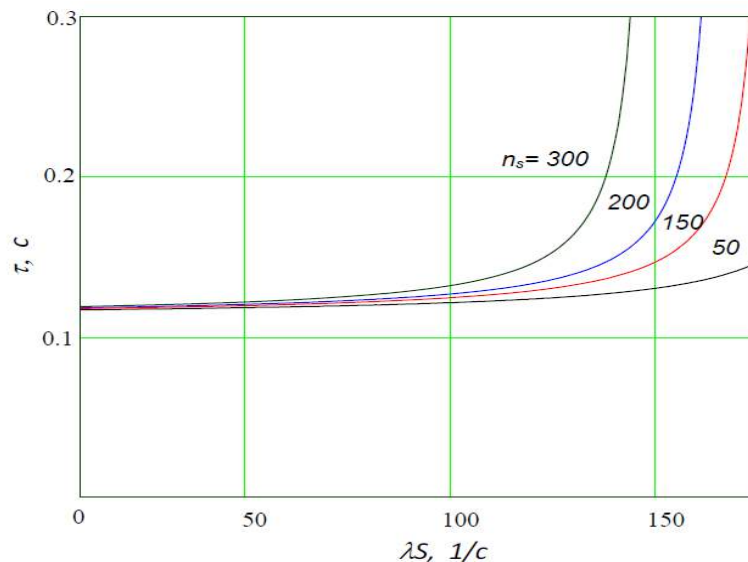


Fig. 3. Response time versus request intensity and the size of the Database

Thus, for the organization of the service, it is necessary to provide the required response time. For this, based on the presented models according to formulas (9) and (10), it is necessary to choose the structure of the service provision network, taking into account the traffic, the volume of the Database and the time of data delivery.

**Processing environment data.** As noted above, the formation of a query is based on the results of recognizing a change in the environment. Recognition can be based on various data received both from sensors and from video cameras and microphones. In the latter case, the recognition problem can have significant computational complexity, therefore, the time required will be very significant. Therefore, it makes sense to choose a means for solving this problem: a mobile terminal or a service server. If the image is fully processed on the terminal, then a request is sent to the server containing only a relatively small amount of data required to identify the object in the server database. In the case when the image is completely fed to the server for processing, a relatively large amount of data is required to be transferred, which is determined by the resolution of the camera and the format of data presentation. Intermediate solutions are also possible, for example, when the terminal application does not fully identify the object, but highlights the object (payload) in the image. In this case, the server receives only the selected part (s) of the image for further processing. Thus, the transfer of the object recognition work to the user terminal saves the time of data transmission over the channel and the PS resource. Transferring this work to the server allows you to save on the processing time of the image by the terminal, however, it leads to an increase in the transmission delay and the consumption of the PS channel. From the point of view of using network resources, the first option is more profitable, however, when implementing the service, one should take into account the real performance of the mobile terminal, the real channel bandwidth and the requirements for the response time. We describe the above with the following model [26; 27]. The component of the delay caused by the processing of the image in the terminal, the server and the time of the PD to the server is defined as

$$\tau_P = f_r(O_r) + \frac{\bar{v}}{c} + f_s(O_s). \tag{11}$$

In formula (11)  $O_r$  and  $O_s$  are the processing time on the mobile terminal and the server based on one bit, respectively;

$c$  – PD speed (bit / s);

$\bar{v}$  – the amount of processed (transmitted) data.

We will assume that the processing time in the mobile terminal and the server linearly depends on the size of the processed data block (image or its part).

$$f(O) = \bar{v}O, \tag{12}$$

where  $O$  is the processing time per 1 byte of the image, typical for a mobile terminal or server (for a mobile terminal and a server, these values may differ significantly).

Then

$$\tau_P = \eta_r \frac{\bar{v}}{O_r} + (1 - \eta_r) \left( \frac{\bar{v}}{c} + \frac{\bar{v}}{O_s} \right). \tag{13}$$

In formula (13)  $\eta_r$  is the share of data processed in the mobile terminal.

It can be seen from formula (12) that an increase  $\eta_r$  leads to a decrease  $\tau_P$  if the processing time in the mobile terminal is less than the sum of the transmission time and the processing time in the server:

$$\frac{\bar{v}}{O_r} < \left( \frac{\bar{v}}{c} + \frac{\bar{v}}{O_s} \right). \tag{14}$$

Guided by expression (14), the service system can distribute data processing functions between the server and the terminal, for example, depending on the server load.

**Hierarchical structure of augmented reality service delivery for load and data distribution.**

To reduce response times by reducing the load on the service server, you can organize a hierarchical structure that includes several levels of service. The server of each level is available to a different number of users. For example, the server of the first (lower) level can be organized

directly in the mobile terminal and have a single user. A call to a higher-level server occurs when the required information is not found in the database of lower-level servers. The server database for each of the levels contains information about the environment of each of the users for whom this server is available, as well as information demanded by users, and the probability of this demand is  $p$ .

Consider a service delivery model. Upon detecting a change in the environment, the user terminal transmits data (possibly already generated request) to the 1st level service server. The server processes the data and the request. Upon successful processing and data availability, the server sends a response to the user terminal. If for some reason the request is not fulfilled by the server of this level, the request is passed to the server of the next level, and so on. Failure may be due to lack of required data at the current service level. The construction of a hierarchical model of service provision allows, by distributing traffic and data between levels, to provide the required indicators of the quality of service provision [28].

The service time of a request in a network with several servers can be described as

$$\bar{\tau} = \bar{\tau}_r + \sum_{j=1}^k p_j \sum_{i=1}^j (\bar{\tau}_q + \bar{\tau}_s) + \bar{\tau}_a + \bar{\tau}_d. \quad (15)$$

In formula (15)  $p_j$  is the probability that the requested data is in the server database of the  $j$ -th level;

$k$  is the number of levels on each of which there is a VR service server according to the hierarchical structure.

Or, taking into account the model according to the formula (5).

$$\bar{\tau} = \bar{\tau}_m + \sum_{j=1}^k p_j \sum_{i=1}^j \left( \frac{v_q + v_a}{c} + \frac{\rho_s}{\mu_s(n_s)2(1-\rho_s)} (1 + V_s^2) + \frac{1}{\mu_s(v_s)} \right). \quad (16)$$

When organizing a service in an SDN network, its functionality can be used to dynamically manage the service by changing the number of service levels, i.e. increasing or decreasing  $k$  in expressions (15) and (16).

The criterion for making a decision is the response time  $\tau$ , or rather its value in comparison with a certain normative (target) value  $\tau_0$ , the value of which is most acceptable for the implementation of the service. Obviously, 0 (zero) can be chosen as the target, but it is obvious that such a goal is not achievable. Reducing processing and delivery delays can be associated with significant financial costs, therefore, the acceptability of the value should be considered as the maximum value at which the desired quality of service (QoS) and user experience (QoE) are provided.

Thus, within the framework of this model, service management consists in maintaining the possible proximity between the real value of the reaction time and its target value, i.e. in providing  $\min|\bar{\tau} - \tau_0|$ . Then the objective function of this task can be written down at least the difference between the reaction time and the standard. The minimum of the difference can be expressed in terms of the minimum of the square of the difference and the least squares method can be applied. Then the problem can be formulated as an optimization problem with an objective function

$$\{k, p_i\} = \operatorname{argmin}_{k, p_i} \left\{ \sum_{i=1}^k (\bar{\tau} - \tau_0)^2 \right\} \quad (17)$$

and restrictions

$$k \in \mathbb{N}, \quad k \leq k_{\max}, \quad 0 \leq p_i \leq 1, \quad \bar{\tau} > 0, \quad \tau_0 = 0,$$

In the formula (17)  $\bar{\tau}$  is determined by expressions according to formulas (15) or (16);

$\tau_0$  – target response time;

$k_{\max}$  – the maximum number of service levels allowed. It should be noted that expressions (15) and (16) are only possible models for describing the timing of the service. They can be both analytical and simulation models, which make it possible to adequately assess the parameters of interest.

The above problem by formula (17) is formulated as the problem of finding the optimal number of service levels  $k$  and values of  $\pi_i$ , which determine not only the composition of the data in the database, but also the traffic share at each of the service levels.

In fact, the composition of data in the database of the level  $i$  server can be determined according to the rule: a data block is stored in the database if the share of requests to it exceeds  $\pi_i$ . The latter actually means that traffic generated by incoming requests will be closed at this service level.

Thus, the implementation of the augmented reality service presupposes that the service system performs the functions of processing, transferring, storing, retrieving data and presenting information to the user. Each of these functions is costly in time, network bandwidth, server performance, and memory.

Information support of the service (information Virtual Reality) can be formed in various ways, including on the basis of search results for information presented on the global Internet. Data retrieval and storage is performed by the service system, which can have several levels of processing. Their number affects the amount of resources used (network bandwidth, server performance, memory).

The main indicator of the quality of service provision is the response time, i.e. the time from the moment the user's environment changes until the required message is presented to the user. This time depends on the distribution of the functions of providing the service to the executive elements (user terminal, servers, channels of the Data Transmission network). The target value of this time should not exceed the user's reaction time to the submitted message by the Virtual Reality.

To ensure the quality of service perception, the resources of the mobile terminal can be used (reduce the data transfer time), as well as SDN resources, allowing to implement a hierarchical service delivery model. The hierarchical model makes it possible to localize a significant proportion of data and traffic, which saves resources on the bandwidth of the communication network. The parameters of the hierarchical service delivery model include the number of hierarchy levels and the likelihood of accessing each of them. The probability of accessing a certain level can be used as a criterion for the formation of a database (DB). The choice of the number of hierarchy levels in the service delivery model and the probability of calls to each of them is an optimization problem, the purpose of which is to ensure the response time closest to the given value. The solution to this problem allows one to obtain the structural parameters of the service system based on data on user traffic.

**Experimental study of multimedia content transfer for virtual reality applications based on WI-FI network of mesh topologies (mesh and ad-hoc).** Solutions for virtual reality applications that exist today imply the formation of a request for the output of an auxiliary layer of information based on video analytics. This is possible due to the presence of an external camera on a smartphone or glasses, which takes a picture and in real time forms a request to the database. The existing solution has a number of significant limitations due to the fact that at a distance of more than 10 meters, as well as at night, video analytics usually works incorrectly and does not allow reliable information reading and video analytics. The approach proposed below is fundamentally different from the existing solutions in that to display information about an object, the direct receipt of information from this object over the network is used.

1) Virtual reality application client: traditionally applications are developed for mobile devices (smartphone, smart glasses, etc.). In a situation when an application wants to get information about a particular object, it generates and sends a request to the nearest application service node (Application Point). A wireless access point based on Wi-Fi technology connects the mobile device to the service center annexes.

2) Virtual reality application service node: this node interacts with system elements and supports protocol interaction. The node is served on a publisher-subscriber basis, i.e. the client as a subscriber subscribes to the channels for providing information of objects, then the client can receive data from the objects when the augmented reality application forms a request and expects data to form a visualization layer. Wireless sensor network endpoints acting as publishers send the collected data over these channels. Thus, information about objects can be provided to the client (virtual reality application) as quickly as possible.

3) Wireless sensor network for data collection: As mentioned earlier, a network with ZigBee protocol support is considered as a self-organizing network. Zigbee endpoints are equipped with various sensors and also contain information about the object itself. The collected data is sent at a specified frequency to the gateway or at the request of the client. The gateway then redirects requests to the cloud service and the application service host (Fig. 4) shows a schematic diagram of a network survey.

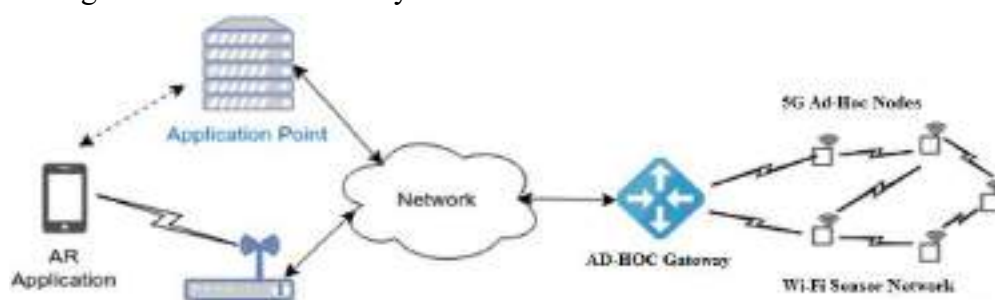


Fig. 4. The structure of the studied network

Let's select Wi-Fi technology for comparison and conduct a study of its potential in an AD-HOC network. For the study, we will use the OMNeT ++ simulation system. We will consider the construction of a model network in a two-dimensional service area, which is a square with a side of 600 m. The size of the service area was selected based on the average estimates of the geographic parameters of the most visited places (squares, recreation areas, train stations, campuses, etc.). We will change the number of network nodes depending on the purpose of the experiment. Each of the network nodes is equipped with a Wi-Fi transceiver and can perform the functions of both an endpoint and a transit node. The specific functionality of the node is determined by the purpose of the experiment. We will consider the case when the network nodes are stationary in the service area. We will consider the use of the TCP and UDP protocols as a transport layer. We will investigate the dependence of the main parameters of the traffic quality of service, such as throughput, message delivery time and the probability of packet loss, on the network configuration and traffic intensity.

In general, the route length depends on the characteristics of a particular network and in practical applications can be up to a dozen transit sections. Consider a network model in which there are two end nodes, one of which acts as a server and the other as a client. The client transfers data in the form of a file to a server running the TCP protocol. Since this protocol provides guaranteed delivery and transfers data at a speed close to the maximum achievable (uses the maximum bandwidth), we will estimate the amount of network throughput based on the analysis of the achievable data transfer rate between the client and the server. The route between the client and the server will contain several hops.

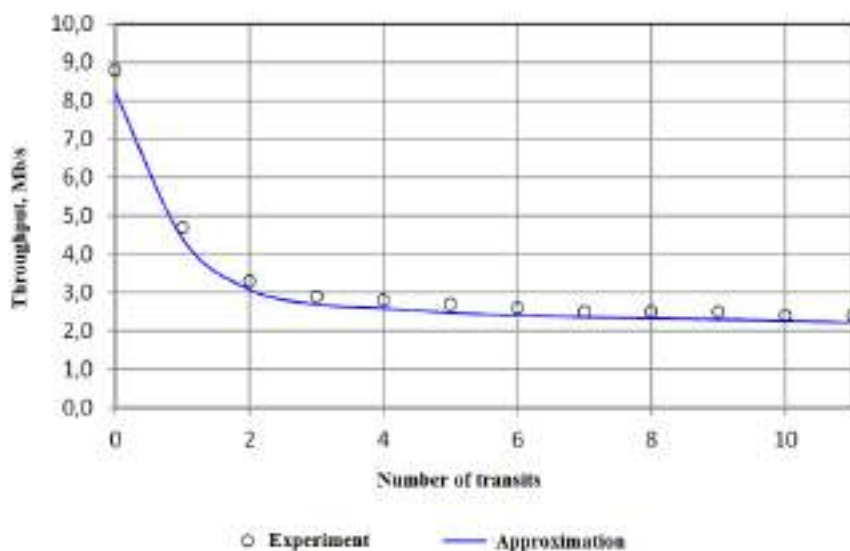
**Researches and results of the developed traffic modeling method.** Table shows the results of simulation experiments. During the experiments, the outgoing traffic of the client and the incoming traffic of the server were recorded.

Table

*Dependence of traffic parameters on the number of transits*

Number of transits	Traffic intensity (client), Mbps	Traffic intensity (server), Mbps	RTT, ms
0	8,8	8,8	7,3
1	9,4	4,7	13,6
2	7,3	3,3	19,5
3	7,0	2,9	22,3
4	6,6	2,8	23,2
5	6,2	2,7	24,3
6	6,1	2,6	25,0
7	5,9	2,5	25,5
8	5,7	2,5	25,8
9	5,7	2,5	26,1
10	5,5	2,4	26,5
11	5,2	2,4	27,0

Figure 5 shows the dependence of the throughput on the number of transit nodes in the route, based on the data in (Table 1).



*Fig. 5. Dependence of throughput on the number of transits*

Figure 5 shows the dependence of the throughput obtained according to the expression

$$b = \frac{W_{nd}}{RTT} \text{ bit/sec.} \tag{18}$$

In formula (18)  $W_{nd}$  is the size of the transmission window (bits),  
 RTT – response time (ms).

The window size in these experiments was  $W_{nd} = 7504$  byte.

Figure 5 shows that the data obtained are quite close to the estimates, according to the expression by formula (18). Figure 6 shows the round-trip delay (RTT) versus the number of transit nodes.

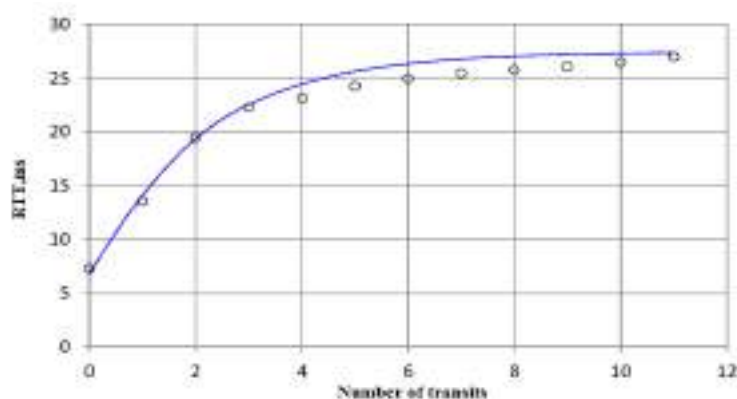


Fig. 6. Dependence of round-trip delay (RTT) on the number of transits

The same figure shows the dependence of RTT, obtained according to the empirical formula.

$$RTT = \frac{W_{nd}}{b_0} + 2b_0(1 - e^{-k}). \quad (19)$$

In formula (19)  $W_{nd}$  is the size of the transmission window (bits),

$b_0$ —in this case the quantity  $b_0 = 11000$  bit / s,

$k$  – number of transit sections

### Conclusions.

1. It was found that the main indicator of the quality of service provision is the response time, i.e. the time from the moment the user's environment changes until the required message is presented to the user. This time depends on the distribution of functions for the provision of services by executive elements (user terminal, Virtual Reality servers, channels, data transmission networks).

2. In order to minimize the response time to changes in the user's environment, a hierarchical structure of resource allocation is proposed when providing augmented reality services. The hierarchical model makes it possible to localize a significant proportion of data and traffic, which saves resources of communication network bandwidth.

3. A new four-level structure of augmented reality service delivery system has been developed based on a modified multilevel mobile edge computing (MM-MEC) using the Device-to-Device (D2D) interaction technology.

4. It can be seen from the above results that the quality of functioning of a self-organizing network built using Wi-Fi technology significantly depends on its parameters, in particular, on the route length and traffic intensity. However, the numerical values of the throughput and the delay values that occur when the route length and traffic intensity change over a fairly wide range, significantly differ from the values obtained for a network built using AD-HOC or MESH topologies.

5. When carrying out simulation experiments, the value of the round-trip delay RTT did not exceed 30 ms, in the worst case, and the throughput did not decrease below 2 Mbps. From this we can conclude that the use of Wi-Fi standards for building wireless sensor networks, in some cases, acceptable for many augmented reality applications.

### References

1. Tom, Dieck M. C., Jung, T. (2015). A theoretical model of mobile augmented reality acceptance in urban heritage tourism. *Current Issues in Tourism*, (2(21)), 154–174.
2. Kaklauskas, A., Zavadskas, E. K., Cerkauskas, J., Naimaviciene, J., Ubarte, I., Banaitis, A., Krutinis, M. (2016). Housing health and safety decision support system with augmented reality. *The Journal of Innovation Impact*, (6(1)), 143–150.



3. Lema, M. A., Antonakoglou, K., Sardis, F., Sornkarn, N., Condoluci, M., Mahmoodi, T., Dohler, M. (June 2017). 5G case study of Internet of Skills: Slicing the human senses. *In Networks and Communications (EuCNC)*, 2017 European Conference on (pp. 1-6).
4. Borodin A.S., Kirichek R.V., Borodin A.S. (2017). Industrial Internet of Things architectures. *Information technology and telecommunications*, 5(4), 49-56.
5. Agiwal, M., Roy, A., Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617-1655.
6. De Oliveira, L. C., de Oliveira Andrade, A., Chagas de Oliveira, E., Soares, A., Cardoso, A., Lamounier, E. (2017). Indoor navigation with mobile augmented reality and beacon technology for wheelchair users. *Biomedical & Health Informatics (BHI)*. Proceedings IEEE EMBS International Conference.
7. Rashid, Z., Melià-Seguí, J., Pous, R., Peig, E. (2017). Using Augmented Reality and Internet of Things to improve accessibility of people with motor disabilities in the context of Smart Cities. *Future Generation Computer Systems*, 76, 248-261.
8. Fokin, S. Yu., Kirichek, R. V. (2016). Review of medical applications, devices and technologies communications of the Internet of Things. *Information technology and telecommunications*, 4(4), 67–80.
9. Vong, C.-M., Wong, P.-K., Ma, Z.-Q., Wong, K.-I. (2014). Application of RFID technology and the maximum spanning tree algorithm for solving vehicle emissions in cities on internet of things. *Proceedings of the 2014 IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT* (pp. 347-352).
10. Keil, J., Edler, D., Dickmann, F. (2019). Preparing the HoloLens for user Studies an Augmented Reality Interface for the Spatial Adjustment of Holographic Objects in 3D Indoor Environments. *Journal of Cartography and Geographic Information*, 69(3), 205–215.
11. Ryzhkov, A. E., Sivers, M. A., Vorobiev, V. O., Gusarov, A. S., Slyshkov, A. S., Shunkov R. V. (2012). *4G radio access systems and networks: LTE, WiMax*. Link.
12. Futahi, A., Paramonov, A. I., Prokopyev, A. V., Kucheryavy, A. E. (2015). Sensor networks in the heterogeneous zone of a long-term system evolution. *Telecommunications*, (3), 36–39.
13. Fettweis, G., Alamouti S. (2014). 5G: Personal Mobile Internet Beyond what Cellular did to Telephony. *IEEE Communications Magazine*, 52(2), 140–145.
14. Borodin, A. S., Kucheriavyi, A. E. (2017). Communication networks of the fifth generation as the basis of digital economy. *Electrosviaz*, (5), 47–51.
15. Gimadinov, R. F., Muthanna, A. S., Kucheriavyi, A. E. (2015). Clustering in 5G mobile networks. Partial case mobility. *Information technology and telecommunications*, 3(2), 44-52.
16. Aijaz, A., Simsek, M., Dohler, M., Fettweis, G. (2017). Shaping 5G for the Tactile Internet. *5G Mobile Communications*, Springer International Publishing (pp. 677–691).
17. Kleinrock, L. (1979). *Queuing Theory*. Mechanical engineering.
18. Fam, V. D., Yulchieva, L. O., Kirichek, R. V. (2016). Research of protocols of interaction of the Internet of things on base of the laboratory stand. *Information technology and telecommunications*, 4(1), 55–67.
19. Borodin A. S., Paramonov A. I. (2019). Routing traffic in a wireless network, built on the basis of D2D technologies. *Electrosviaz*, (2), 38-44.
20. Baronti P. et al. (2007). Wireless sensor networks: A survey on the state of the art and the 802.15. 4 and ZigBee standards. *Computer communications*, 30(7), 1655-1695.
21. Vikulov, A. S., Paramonov A. I. (2017). Analysis of traffic in a wireless access network standard IEEE 802.11. *Proceedings of educational institutions of communication*, 3(3), 21-27.
22. Kumaritova, D. L., Kirichek, R. V. (2016). Review and comparative analysis of LPWAN technologies networks. *Information technologies and telecommunications*, 4(4), 33.
23. Moskalenko, T. A., Kirichek, R.V., Borodin, A. S. (2017). Industrial Internet of Things architectures. *Information technology and telecommunications*, 5(4), 49-56.
24. Kucheriavyi, A. E., Vybornova, A. I. (2016). Tactile Internet. *Collection of scientific articles of the V international scientific-technical and scientific-methodical conference "Actual problems of information telecommunications in science and education" APINO-2016*, 1, 6-11.
25. Tsybakov, B. S. (1999). *Teletraffic model based on self-similar random process*. Radio Engineering, (5), 24–31.

26. Kirichek, R. V., Kucheriavyi, A. E., Paramonov A. I., Prokopyev A. V. (2014). The evolution of wireless sensor research networks. *Information technology and telecommunications*, (4), 29–41.
27. Cool R. V. Kirichek, Kulik, V. A., Curly, A. E. (2015). Hardware and software complex for testing devices of the Internet of Things. *Information technology and telecommunications*, (4(12)), 67-76.
28. Billinghurst, M., Clark, A., Lee, G. (2015). A survey of augmented reality. *Foundations and Trends in Human-Computer Interaction*, 8(2-3), 73– 272.

Отримано 22.07.2021

УДК 004.942:004.738:004.722

**Володимир Тігарев<sup>1</sup>, Юлія Бабич<sup>2</sup>, Олексій Лопаків<sup>3</sup>,  
Володимир Космачевський<sup>4</sup>, Юлія Барчанова<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну Інститут промислових технологій, дизайну і менеджменту, Державний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)  
**E-mail:** [volodymyr\\_t@ukr.net](mailto:volodymyr_t@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8492-6633>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри Інформаційних технологій проектування та дизайну Інститут промислових технологій, дизайну і менеджменту, Державний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)  
**E-mail:** [juliakosenko1987@gmail.com](mailto:juliakosenko1987@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9966-2810>

<sup>3</sup>старший викладач кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну Інститут промислових технологій, дизайну і менеджменту, Державний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)  
**E-mail:** [kedroess9@gmail.com](mailto:kedroess9@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6307-8946>

<sup>4</sup>асистент кафедри інформаційних технологій проектування та дизайну Інститут промислових технологій, дизайну і менеджменту, Державний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)  
**E-mail:** [cldmgh@gmail.com](mailto:cldmgh@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3234-2297>

<sup>5</sup>старший викладач кафедри Інформаційних технологій проектування та дизайну Інститут промислових технологій, дизайну і менеджменту, Державний університет «Одеська політехніка» (Одеса, Україна)  
**E-mail:** [vbybgen@ukr.net](mailto:vbybgen@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9020-0967>

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОСЛУГИ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ  
В ПРОГРАМНО-КОНФІГУРОВАНИХ МЕРЕЖАХ SDN В УМОВАХ ОБМЕЖЕНИХ  
РЕСУРСІВ МОБІЛЬНОГО ТЕРМІНАЛУ 5G**

Основна ідея віртуальної реальності полягає в накладенні тексту, графіки, аудіо, відео, сенсорних даних і відчуттів поверх існуючих об'єктів навколишнього світу в режимі реального часу. Тому відмінною рисою віртуальної реальності є поєднання реальних і віртуальних об'єктів в єдиному просторі, що часто називають новим поняттям «гібридна» реальність, під яким розуміють тривимірне сприйняття об'єктів і наявність інтерактивності, що призводить до високих вимог до затримки передачі по мережі зв'язку.

У цій статті розроблена ієрархічна структура розміщення даних у системі обслуговування віртуальної реальності і досліджуються переваги використання даної структури. Досить велика кількість додатків віртуальної реальності засновано на розпізнаванні об'єктів в оточенні користувача, тобто в поле його зору. Запропонована нова структура системи надання послуг віртуальної реальності (VR) на основі модифікованої багаторівневої системи граничних обчислень, що використовує технологію взаємодії D2D (Device-to-Device).

В основі мереж 5G лежать занадто щільні мережі з ультра малими затримками ( $\tau < 1\text{мс.}$ ). Останнім часом вимоги до ультрамалих затримок були доповнені вимогами щодо ультрависокої надійності, в результаті чого з'явилася мережа з ультрависокою надійністю і ультра малими затримками URLLC (Ultra Reliable and Low Latency Communications).

У статті розробляється і досліджується комплекс моделей і методів для віртуальної реальності, що включає в себе моделі послуг VR, взаємодії основних елементів при наданні послуг VR, модель мобільного користувача послуги VR, в якій користувач представлений як система масового обслуговування, що дозволяє оцінити потоки і інформацію, яка надходить до системи масового обслуговування.

**Ключові слова:** Віртуальна Реальність (VR); D2D (Device-to-Device); 5G; час обробки запиту сервером; система масового обслуговування M / G / 1; формула Поллачека-Хінчина; кругова затримка RTT; Інтернет Речей, багаторівнева система граничних обчислень (MM-MEC).

Рис.: 6. Бібл.: 28.

**Віктор Гречанінов**

кандидат технічних наук, заслужений працівник цивільного захисту України,  
завідувач науково-дослідного відділу Інтелектуальних інформаційно-аналітичних систем  
Інститут проблем математичних машин і систем НАН України (Київ, Україна)  
E-mail: [vgrechaninov@gmail.com](mailto:vgrechaninov@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6268-3204>

**ПРО КОНЦЕПЦІЮ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ  
СФЕРИ НАЦІОНАЛЬНОЇ БЕЗПЕКИ Й ОБОРОНИ**

*Керівництвом держави неодноразово видавались документи про створення та об'єднання в мережу ситуаційних центрів (СЦ) у різних органах влади, підвищення їх взаємодії та координації діяльності, цифрової трансформації в секторі безпеки і оборони (СБО). Але на прикладі проведення автоматизації управління в ЗС України ми не бачили стратегії побудови дієвої мережі СЦ у СБО. Потрібна сучасна Концепція цифрової трансформації в СБО України. В статті розкриті складові цієї Концепції та підходи до її створення і застосування, які дозволять провести інформатизацію цієї сфери, забезпечити її надійне функціонування і захист.*

**Ключові слова:** інформатизація; ситуаційні центри сектору безпеки та оборони; цифрова трансформація.

*Рис.: 2. Бібл.: 8.*

**Актуальність теми.** Сучасність характеризується поширенням електронних комунікацій. Цифрова трансформація сьогодні є об'єктивним процесом, що заповнює всі сфери соціального існування, у тому числі діяльності в секторі безпеки й оборони (СБО). Без жодного перебільшення можна стверджувати, що слово *інформатизація* сьогодні широко уживано. У сучасному високотехнологічному суспільстві, у тому числі у Збройних Силах та інших силових структурах України, сильно ускладнилися зв'язки між окремими елементами інфраструктури, а отже, і суттєво підвищилися вимоги до кількості та якості інформаційних послуг.

Аналіз розробки й реалізації численних науково-технічних програм та Єдиної автоматизованої системи управління (ЄАСУ) ЗС України показав, що вони здебільшого мають суттєві недоліки. Головний із них – програми та АСУ найчастіше розроблялися за принципом «хто що може». Звідси їх обмеженість і відсутність націленості на необхідний результат та інтеграцію. Іншими словами, більшість наявних науково-технічних програм та АСУ все ще важко назвати цільовими і функціонально повними.

Інформатизація в цьому випадку – це цілеспрямована діяльність зі створення і широкомасштабного використання у всіх сферах функціонування органів виконавчої влади сектору безпеки й оборони нових інформаційних технологій з метою інтенсифікації, покращення та прискорення результатів їхньої роботи.

Тому був виданий Указ Президента України від 18 червня 2021 року № 260/2021 Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 червня 2021 року «Щодо удосконалення мережі ситуаційних центрів та цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони» [1].

**Постановка проблеми.** Причиною вказаних вище недоліків є те, що в практичній роботі зі складання програм та АСУ дуже слабо був представлений етап «формулювання концепцій». У закордонній практиці навпаки цьому етапу надається значно більше уваги. Так, у Міністерстві оборони США було зазначено, що без етапу «формулювання концепції» пропозиції про контракти на розробку просто не розглядаються. Формулювання концепції – це діяльність, що передуює прийняттю рішення про технічну розробку тієї чи іншої системи. Така діяльність включає всебічний аналіз і роботи зі створення окремих елементів системи в порядку виконання пошукових і перспективних досліджень, що є обов'язковою умовою для прийняття рішення. На цьому ж етапі проводять первинне теоретичне вивчення питання, зване іноді пошуково-плановою частиною роботи з планування створення системи. При формулюванні концепції визначаються мета створення системи, терміни реалізації, ефективність, витрати, переваги перед конкуруючими пропозиціями, ступінь ризику.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішення цієї проблеми було започатковано різними вченими, у тому числі в таких проаналізованих роботах:

РНБО [1] вирішила визнати за необхідне розширення та подальший розвиток єдиної мережі ситуаційних центрів з метою підвищення ефективності інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття управлінських рішень, взаємодії, координації і контролю за діяльністю органів виконавчої влади, правоохоронних органів та військових формувань у сферах національної безпеки і оборони у мирний час, а також в особливий період, у тому числі в умовах воєнного стану, в умовах надзвичайного стану та під час виникнення кризових ситуацій, що загрожують національній безпеці України.

У збірнику праць «Ситуаційні центри. Теорія і практика» [2; 3] наведено погляди колективу авторів на рішення з побудови і функціонування СЦ для багаторівневої та багатоступінчастої підготовки прийняття рішень, на питання інтелектуалізації інформаційних технологій, що застосовуються, та на інструментальні засоби створення і функціонування СЦ. Зокрема, наведено декілька визначень СЦ, наголошено, що СЦ є основою стратегічного управління, вони створюються з метою допомагати керівникам великих підприємств, відомств, регіонів та цілих галузей виробляти системні рішення (сценарії) при управлінні складними розгалуженими процесами. У статтях збірника наводяться принципи побудови СЦ, описуються цикл прийняття управлінських рішень у СЦ, побудова сценаріїв розвитку подій, висвітлюються питання функціональної архітектури системи і контролю виконання рішень, наводяться приклади застосування ІТ-технологій та висвітлюються багато інших важливих питань.

Статті [4; 5] присвячені розробці архітектури багаторівневих систем управління технологічними процесами та багаторівневих систем управління регіоном. Описані принципи та рівні інтеграції таких систем. Наведено рівні управління. Сформульовано вимоги до компонентів систем та розглянуто основні апаратно-програмні компоненти багаторівневих систем визначеного класу.

У Системному проєкті зі створення ЄАСУ ЗС України визначені напрями та наведено архітектуру створення мережі багаторівневих рознесених автоматизованих систем управління військами (силами) [6].

У навчальному посібнику [7] описані основи теорії прийняття рішень. Подано базові поняття, моделі, методи й алгоритми, що визначають процеси прийняття рішень. Наведені класичні та оригінальні моделі прийняття рішень.

У статті [8] обґрунтовано необхідність створення мережі ситуаційних центрів органів державної влади як сучасного засобу підвищення ефективності управлінської діяльності. Наведено деякі тези щодо концепції цифрової трансформації.

У результаті проведеного аналізу останніх досліджень і публікацій можна зробити висновки про те, що незважаючи на наявність робіт, присвячених багаторівневим системам та СЦ, у відкритій літературі немає висвітлення рішень, які стосуються теми цієї статті.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Не можна стверджувати, що в цій сфері діяльності були відсутні концептуальні ідеї. Проаналізувавши досвід створення ЄАСУ ЗС України а також наявність і стан ситуаційних центрів (СЦ) в органах виконавчої влади (ОВВ) сектору безпеки і оборони України, бачимо, що залишаються невирішеними деякі проблеми та задачі, вирішенню яких присвячена стаття.

**Мета статті.** Метою цієї статті є обговорення деяких підходів до формулювання концепції створення і застосування цифрової трансформації в ОВВ СБО України. Розуміючи під застосуванням використання на ділі потенційних можливостей засобів обчислювальної техніки (ЗОТ); ми повинні мати на увазі, що ці засоби мають тільки здатність вирішувати ті чи інші завдання. Концепція ж повинна містити провідний задум використання цих потенційних можливостей для досягнення головних цілей інформатизації.

**Виклад основного матеріалу.** Органи влади СБО – це система, що складається зі структур (міністерств, державних служб тощо) і зв'язків між ними. Ефективність функціонування цієї системи визначається як якістю самих елементів, так і станом інформаційного обміну між ними. Нове інформаційне середовище дозволить не тільки накопичувати необхідні дані про життя і події в суспільстві й за кордоном у базах даних і знань, в експертних системах, а й використовувати їх у потрібний час, у потрібній формі для вирішення нагальних завдань і проблем.

Інформатизація органів влади СБО – це створення багаторівневої мережі – системи взаємодіючих ситуаційних центрів різних відомств.

На жаль, як уже було зазначено, цій стороні «діяльності, що передуює прийняттю рішення», у нас приділялося незаслужено мало уваги. Так зване техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) не замінює за своїм змістом етапу формулювання концепції. Практично не опрацьовувалася в достатній мірі ідейна сторона питання.

За своїм змістом «концепція – це певний спосіб розуміння, трактування будь-якого предмета, явища, процесу та інше, керівна ідея для їх систематичного висвітлення. Термін «концепція» вживається також для позначення провідного задуму в науковій, художній, технічній, політичній та інших видах діяльності».

Ключовими словами в цьому визначенні є «керівна ідея» і «провідний задум». У цьому вся справа. Що стосується питання про складання науково-технічних програм можна сказати, що перш, ніж складати програму, необхідно чітко сформулювати її керівну ідею, провідний задум досягнення мети.

Слід зазначити, що концепція створення тієї чи іншої системи являє собою комплексне поняття. Іншими словами, слід говорити не про одну концепції, а про безліч концептуальних ідей, що має ієрархічну структуру.

Процес формулювання концепції можна представити як синтез потенційних можливостей ЗОТ, узагальнених знань і досвіду їх використання, а також вимог споживачів; результатом такого синтезу є вигляд тієї чи іншої системи, в якому чітко виражена керівна ідея розробки (рис. 1).

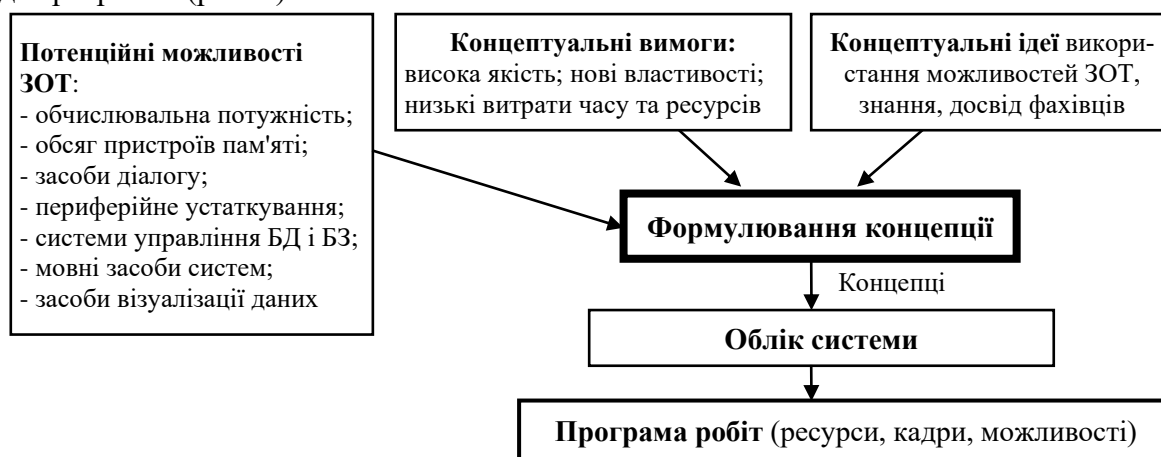


Рис. 1. Процес формулювання концепції

До критеріїв оцінки потенційних можливостей ЗОТ належать: їх обчислювальна потужність; обсяг запам'ятовуючих пристроїв; архітектура ЕОМ і мереж; різноманітність засобів периферійної техніки; можливості діалогу; а також розвиненість операційних систем, мов, систем управління базами даних і знань.

Що стосується основних концептуальних ідей використання на ділі потенційних можливостей ЗОТ для досягнення максимуму ефективності тієї чи іншої системи, то розвиток комунікацій, підвищення вимог до сервісу, масовість застосування ЗОТ і взагалі

прагнення до інформатизації всіх сторін діяльності в СБО дозволяють згрупувати ці ідеї у вигляді таких чотирьох груп: інформаційне середовище (інформатизація), розумова діяльність (інтелектуалізація), комунікаційні технології (інтеграція) та індивідуалізація. З рис. 2 видно, що для розвитку пріоритетного напрямку «комплексна автоматизація» в сучасному поданні слід керуватися саме таким поглядом (концепцією).



Рис. 2. Основні групи концептуальних ідей використання потенційних можливостей ЗОТ для досягнення максимуму ефективності системи

Інформаційне середовище (інформатизація). Інформатизація передбачає насамперед високу якість інформаційного обслуговування потреб як фахівців, так і технічних пристроїв. На практиці ми постійно стикаємося з необхідністю оперування деякими даними, а саме цифрами, буквами, символами, графіками, сигналами різної фізичної природи, розташованими в визначеному порядку, які однозначно відображають певний факт, що відноситься до цієї події. Дані об'єктивні за своєю природою і не залежать від споживача.

Інформація, на відміну від даних, суб'єктивна. Вона являє цінність лише для споживача, орієнтована на його рівень знань, ступінь сприйняття. Інформація – це відомості, невідомі раніше одержувачу, які поповнюють його знання, що підтверджують припущення та затверджують у переконаннях. Інформація (знання) міститься в даних і витягується з них в процесі обробки. Цей процес передбачає наявність впорядкованої послідовності операцій по збору, накопиченню, перетворенню, відображенню, поширенню як самих даних, так і інформації, що міститься в них, з метою задоволення інформаційних потреб користувача. Такі послідовності операцій з обробки даних ми називаємо інформаційними технологіями, які є, по суті, операціями з даними.

Раніше передбачалося, що для вирішення задач автоматизації необхідно поставити обчислювальну потужність безпосередньо на робоче місце, тепер же йдеться про те, що потрібно подавати знання користувачеві для задоволення його інформаційних потреб. Іншими словами, інформаційна технологія повинна зливатися, інтегруватися з технологією виконуваних дій, що і дозволить отримати новий системний ефект.

Саме в цьому сенс інформатизації – в безпосередній участі інформації (знань) у повсякденній діяльності фахівців. Шлях знань від місця їх зберігання до місця їх безпосереднього споживання повинен бути скорочений до мінімуму. При цьому інформація (знання), інформаційні ресурси взагалі стають безпосередньою продуктивною силою. Дії людини, технологічні операції стають більш інтелектуалізованими, більш ефективними.

Необхідно пам'ятати, що комп'ютеризація – це тільки частина інформатизації, що становить її технічну інструментальну основу, яка і дозволила перейти на «безпаперову» пам'ять. Водночас комп'ютеризація стала і технологічним та організаційним фактором.

Таким чином, кажучи про інформатизацію, ми припускаємо більш повне використання інформації (знань) для вирішення тих чи інших завдань, підвищення якості інформаційного обслуговування. Таке обслуговування необхідно передусім для прийняття рішення: продовжувати процес або змінити його в потрібному напрямку. Рішення приймаються людьми або технічними пристроями відповідно до закладених у них при конструюванні правилами дій (алгоритмами). Прийняттю рішень завжди передують етапи аналізу й оцінки ситуації, прогнозу її розвитку, моделювання та оцінки варіантів дій і т. ін. Для виконання цих дій застосовуються певні алгоритмічні процедури, засновані на операціях з вихідними даними (алгоритмічне обслуговування). Висока якість і нові споживчі властивості стосовно алгоритмічного обслуговування виражаються в тому, що за допомогою засобів інформатизації реалізуються нові алгоритмічні схеми, які забезпечують більш глибокий аналіз, отримання більш точного прогнозу, генерацію та оцінку можливих варіантів дій.

Алгоритми підтримки рішень, що приймаються, та управління (миттєвого планування) спираються на вихідну інформацію. Нові інформаційні технології повинні забезпечити високу якість, тобто більш високу точність інформації, її своєчасність і повноту, її відповідність питанню, що розглядається, виразність (активність сприйняття, спонукання до цілеспрямованих дій). Інформація повинна бути доступною як у сенсі можливості її отримання, так і в сенсі її розуміння і цінності.

Відповідно до викладеного група концептуальних ідей, об'єднаних поняттям «інформатизація», ділиться на дві підгрупи – інформаційного сервісу та алгоритмічного обслуговування. Інформатизація розглядається нами як одна з керівних ідей, провідний задум при розробці тієї чи іншої системи, як вимога максимального використання на ділі потенційних можливостей ЗОТ для підвищення якості інформаційного обслуговування, надання йому нових споживчих властивостей. Інформатизація – дієвий засіб для досягнення цілей, поставлених перед будь-якою системою, що створюється.

*Розумова діяльність (інтелектуалізація).* Оцінюючи потенційні можливості ЗОТ як універсального підсилювача людських можливостей і засобу зниження труднощів, що стоять перед фахівцем-користувачем, наступну групу концептуальних ідей можна визначити як концепцію інтелектуалізації, під якою слід розуміти здатність створюваних систем інтерпретувати знання, тобто класифікувати об'єкти, розпізнавати образи й ситуації, спілкуватися з користувачем природною мовою, накопичувати та використовувати знання, робити логічні висновки.

*Комунікаційні технології (інтеграція).* Досвід і накопичені знання свідчать про те, що в усіх сферах діяльності в СБО посилюються інтеграційні тенденції. Це властиво всім системам. Розуміючи під системою сукупність різних взаємодіючих технічних елементів і людей, об'єднаних для досягнення спільної мети, слід підкреслити визначальну ефективність їх взаємодії, роль зв'язків між елементами для отримання максимуму ефекту. Розширення і зміцнення зв'язків (у широкому сенсі цього слова) дозволяє охоплювати великі зони автоматизації, використовувати більш точні алгоритмічні моделі автоматизованих процесів для вирішення завдань управління ними, погоджувати критерії оптимальності, організувати єдині бази даних. Інтеграція – одна з головних концептуальних ідей на сучасному етапі розвитку науково-технічного прогресу.

*Індивідуалізація.* Аналіз тенденцій розвитку суспільства показує, що дедалі більше значення надається людському фактору, індивідуальним особливостям користувачів. Відповідно до цієї тенденції формується концепція (головний задум) застосування ЗОТ – функціональна й особистісна орієнтація створюваних систем і пристроїв. Індивідуалізація проявляється також в підтримці прагнення споживача використовувати потенційні можливості ЗОТ для самостійної організації свого робочого місця і відпрацювання технології у відповідності зі своїми уявленнями про зручності.

У зв'язку з цим уточнимо наші вимоги до автоматизованого робочого місця (АРМ). Під АРМ зазвичай розуміють фіксоване розміщення деякого технічного комплексу разом з організаційно-технологічними регламентами, що визначають роботу фахівця. Будь-яке АРМ професійно й персонально орієнтоване: воно захищене від несанкціонованого доступу, в ньому реалізована вся необхідна для дій професіонала даного профілю програмне (командно-інформаційне) середовище.

Неодмінним компонентом АРМ і їх асоціацій є банки даних. Якщо бази даних організовують інформаційне середовище найбільш ефективним при комп'ютеризації способом, то банки даних враховують ще й організацію людського фактору в роботі з такого роду системами, їх сервісну спрямованість.

*Концептуальне та облікове проектування.* Формування на основі досвіду, знань, інтуїції концептуальних ідей застосування ЗОТ, їх класифікація, визначення тенденцій розвитку – необхідні етапи переходу до концептуального проектування. Останнє передбачає можливість вибору з безлічі концептуальних ідей та інформаційних технологій такої множини, яка найкращим чином відповідала б інтересам досягнення поставленої мети. Це творчий процес.

Слід зауважити, що безліч концептуальних ідей є відкритими. Під впливом розвитку науки, практики і запитів споживачів ідеї виникають і зникають – в цьому позначається динамізм нашого століття. При зіставленні концептуальних ідей застосування ЗОТ з їх потенційними можливостями і прогнозами розвитку зазвичай виникає концепція (керівна ідея, провідний задум) розробки тієї чи іншої системи. В результаті синтезу концептуальних ідей з потенційними можливостями ЗОТ задум трансформується в образ створюваного об'єкта – цей процес можна назвати обліковим проектуванням. Іншими словами, вигляд системи – це конкретне втілення концептуальних ідей.

Концептуальне та облікове проектування – це початковий етап розробки програми робіт, що включає оцінювання, планування і розподіл ресурсів, кадрів, можливості реалізації проекту, визначення ступеня ризику. Від того, наскільки повно й точно сформульована концепція і здійснене її опрацювання, у великій мірі залежить успіх справи.

Програмування може здійснюватися вручну або із застосуванням самих нових інформаційних технологій. Оцінюючи цю та інші стадії проектування, можна виділити два класи технологій: клас процедур підтримки прийняття рішень та клас процедур з документування результатів таких рішень. Для кожного з цих класів процедур потрібні свої, специфічні інформаційні технології, при яких необхідно орієнтуватися на наведену концепцію.

Не маючи можливості викласти детально концепцію побудови технологій для кожного етапу проектування, відзначимо, що всі ці технології повинні бути взаємопов'язані. Функціонально повний набір інформаційних технологій повинен бути, з одного боку, взаємопов'язаним (інтегрованим), а з іншого – кожна технологія повинна відповідати вимогам індивідуалізації, тобто бути функціонально орієнтованою.

Характеризуючи загалом концепцію, ми можемо її сформулювати таким чином: з метою досягнення максимуму ефективності процесу управління повинен бути створений функціонально повний набір автоматизованих інформаційних технологій для підтримки



прийняття рішень та документування їхніх результатів, які використовували б на ділі потенційні можливості засобів обчислювальної техніки для реалізації концептуальних ідей інформатизації, інтелектуалізації, інтеграції та індивідуалізації.

Інформатизація – це цілеспрямована діяльність зі створення і широкомасштабного використання в усіх сферах діяльності в СБО нових інформаційних технологій з метою інтенсифікації, прискорення результатів їх роботи.

**Висновки.** Вищим ступенем інформатизації має стати створення єдиної мережі ситуаційних центрів органів влади СБО, поширення експертних систем, спеціалізованих аналітичних центрів, що забезпечують можливість колегіального моделювання та прийняття рішень (з оцінкою їхніх наслідків – як позитивних, так і негативних).

У кінцевому підсумку інформатизація в СБО спрямована на створення інформаційної інфраструктури, що реалізує потоки і зберігання даних для всієї різноманітності цілей всієї інформаційної діяльності в даній гілці влади країни.

На основі розвитку засобів інформатизації забезпечується значне поліпшення управління і вирішення всіх завдань.

Автор статті цілком чітко усвідомлює, що в рамках окремої публікації можна було продовжити тільки фрагментарний виклад деяких аспектів обговорюваної проблеми, багато чого має бути в подальшому уточнено й доповнено.

### Список використаних джерел

1. Рада національної безпеки і оборони. «Щодо удосконалення мережі ситуаційних центрів та цифрової трансформації сфери національної безпеки і оборони» [Електронний ресурс]: Рішення від 4 червня 2021 року. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0039525-21#n2>.

2. Ситуационные центры. Основные принципы конструирования / А. А. Морозов, Г. Е. Кузьменко, В.И. Вьюн, В. А. Литвинов // Ситуаційні центри. Теорія і практика / А. О. Морозов, Г.Є. Кузьменко, В.А. Литвинов. – К., 2009. – С. 74-80.

3. Вьюн В. И. Интеллектуализация АСУ: проблемы, напрямки досліджень / В. И. Вьюн, Г. Є. Кузьменко, А. А. Морозов // Ситуаційні центри. Теорія і практика / А. О. Морозов, Г.Є. Кузьменко, В.А. Литвинов. – К., 2009. – С. 143–148.

4. Цмоць І. Г. Багаторівнева система управління технологічними процесами / І. Г. Цмоць, С. П. Стрянець, Д. Д. Зербіно // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 4. – С. 139-145.

5. Теслюк Т. Архітектура багаторівневої системи управління енергоефективністю регіону / Т. Теслюк, І. Цмоць, Ю. Опотяк, В. Теслюк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2017. – № 864. – С. 201-209.

6. Обґрунтування проектних рішень щодо створення першочергових загальносистемних складових ЄАСУ ЗС України. Звіт про НДР Системний проект зі створення ЄАСУ ЗС України заключний: ГУЗІС ЗСУ. – Київ, 2014.

7. Волошин О. Ф. Моделі та методи прийняття рішень: навчальний посібник / О. Ф. Волошин, С. О. Машенко. – К.: Видавництво «Людмила», 2018. – 292 с.

8. Мережа ситуаційних центрів органів державної влади – базис для підвищення ефективності їх діяльності (взаємодії) / В. Ф. Гречанинов, Г. Є. Кузьменко, А. О. Морозов, А. В. Лопушанський // Математичні машини і системи. – 2018. – № 3. – С. 32-39.

### References

1. Rada natsionalnoi bezpeky i oborony [National Security and Defense Council of Ukraine]. (June 4, 2021). Shchodo udoskonalennia merezhi sytuatsiinykh tsestriv ta tsyfrovoyi transformatsii sfery natsionalnoi bezpeky i oborony [On improving the network of situational centers and digital transformation of national security and defense]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/260/2021#Text>.

2. Morozov, A. A., Kuzmenko, G. E., Viun, V. I., & Litvinov, V. A. (2009). Situatsionnye tsentry. Osnovnye printsipy konstruirovaniia [Situational centers. Basic design principles]. In A. A. Morozov, G. E. Kuzmenko, V. A. Litvinov, *Sytuatsiini tsentry. Teoriia i praktyka [Situational centers. Theory and practice]*. (pp. 74-80).

3. Viun, V. Y., Kuzmenko, H. Ie., Morozov, A. A. (2009). Intelektualizatsiia ASU: problemy, napriamky doslidzhen [Intellectualization of ACS: problems, directions of research]. In A. A. Morozov, G. E. Kuzmenko, V. A. Litvinov, *Sytuatsiini tsentry. Teoriia i praktyka [Situational centers. Theory and practice]*. (pp. 143-148).

4. Tsmots, I. H., Striamets, S. P., Zerbino, D. D. (2016). Bahatorivneva systema upravlinnia tekhnolohichnykh protsesamy [Multilevel system for technological process control]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky – Herald of Khmelnytskyi national university. Technical sciences*, (4), 139-145.

5. Tesliuk, T., Tsmots, I., Opotiak, Yu., Tesliuk, V. (2017). Arkhitektura bahatorivnevoi systemy upravlinnia enerhoefektyvnistiu rehionu [Architecture of a multi-level energy efficiency management system in a region]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika". Kompiuterni nauky ta informatsiini tekhnolohii – Herald of Lviv Polytechnic National University, Series of Computer Science and Information Technology*, (864), 201-209.

6. HUZIS ZSU. (2014). Obgruntuvannia proektnykh rishen shchodo stvorennia pershocherhovykh zahalnosystemnykh skladovykh YeASU ZS Ukrainy. Zvit pro NDR Systemnyi proekt zi stvorennia YeASU ZS Ukrainy zakliuchnyi [Justification of design solutions for the creation of priority system-wide components of the Unified Automated Control System of the Armed Forces of Ukraine. Final R&D report].

7. Voloshyn, O.F., Mashchenko, S.O. (2018). *Modeli ta metody pryiniattia rishen [Tutorial. Models and methods of decision making]*. Vydavnytstvo «Liudmyla».

8. Hrechaninov, V.F., Kuzmenko, H.Ie., Morozov, A.O., Lopushanskyi, A.V. (2018). Merezha sytuatsiinykh tsentriv orhaniv derzhavnoi vlady – bazys dlia pidvyshchennia efektyvnosti yikh diialnosti (vzaiemodii) [Network of situational centers of public authorities - the basis for improving the efficiency of their activities (interaction)]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, (3), 32-39.

Отримано 05.08.2021

UDC 004.413:004.7

### **Viktor Grechaninov**

PhD in Technical Sciences, Honored Worker of Civil Defense of Ukraine,  
Head of Research Department of Intelligent Analysis and Information Systems  
Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of the NAS of Ukraine (Kyiv, Ukraine)  
E-mail: [vgrechaninov@gmail.com](mailto:vgrechaninov@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6268-3204>

## **ON THE CONCEPT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE SPHERE OF NATIONAL SECURITY AND DEFENSE**

*For over 25 years, the state leadership has repeatedly issued relevant documents on the creation of situational centers (SC) in various government bodies, combining them into a network, creating their information environment, etc. Unfortunately, an effective integrated SC network in the Security and Defense Sector (SDS) is still lacking.*

*On June 4, 2021, the National Security and Defense Council of Ukraine made a decision "On improving the network of situational centers and digital transformation of the national security and defense sphere." This decision sets ambitious tasks for the expansion and development of a unified network of SC, increasing interaction and coordination of the activities of authorities in the SDS, the tasks set for equipping the SC for making management decisions. Very tight deadlines for the creation of the SCs have been determined.*

*But the implementation of these solutions is complicated by existing problems: digital transformation in the SDS must be developed in accordance with Ukrainian standards, there must be unified systems of rules, standards for collecting, classifying, storing and using data, unified approaches to data protection, countering cybersecurity risks; the SDS of Ukraine does not have enough highly qualified personnel for digitalization; on the example of automation of management in the Armed Forces of Ukraine, we do not see the strategy and national program for building a network of SCs in the SDS of the state.*

*That is why we need a modern, progressive Concept of digital transformation in the SDS of Ukraine. The article reveals the components of this Concept and approaches to its creation and application. The possibility of conceptual design of informatization and the fact that computerization is only a part of informatization are shown. The development and adoption of a modern concept of informatization of the SDS will give grounds for guaranteed building of a digital transformation in this area in accordance with Ukrainian standards and reliably ensuring its functioning and protection in any conditions.*

**Keywords:** informatization; situation centers of the security and defense sector; digital transformation.

Fig.: 2. References: 8.

**Marek Vagas<sup>1</sup>, Alena Galajdova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Faculty of Mechanical Engineering,  
Department of Industrial Automation and Mechatronics  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)

E-mail: [marek.vagas@tuke.sk](mailto:marek.vagas@tuke.sk). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8660-8484>

<sup>2</sup>Full Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Industrial Automation and Mechatronics  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)

E-mail: [alena.galajdova@tuke.sk](mailto:alena.galajdova@tuke.sk). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0128-4191>

**PROCESS MONITORING BASED ON RFID TECHNOLOGY**

*The article deals with process monitoring in an automated workplace from the company FESTO using RFID technology. It contains a detailed software and hardware configuration and the programming of the RFID read head (BALLUFF) in the Siemens software environment (TIA Portal). Furthermore, the article aims to point out the possibilities of processing data obtained in such a form. Another activity is the ongoing evaluation of these data and their projection into a graphical format (e.g., trend graphs).*

**Keywords:** RFID technology; automated workplace; sensing head; BALLUF.

*Fig.: 6. References: 7.*

**The urgency of the research.** Increasingly complex automation of production lines and entire technological processes brings with it the necessary need for real-time data processing. In addition, each final product goes through certain production stages, so monitoring its status and always overview the state is needed. As one of the commonly available and often deployed technologies, RFID offers comprehensive and fully automatic identification of products and sharing of information obtained in this way across individual levels of management.

**Target setting.** This technology (unlike, e.g., barcodes) allows its wide deployment in common areas of life, e.g., in-car immobilizers, contactless identification cards, smart cards on public transport, attendance systems, etc. In addition, in this way, products can be quickly and unambiguously identified or counted, and the tag does not even have to be in a visible place. RFID technology allows scanning up to several hundred pieces of products simultaneously, e.g., impossible with barcodes.

**Actual scientific researches and issues analysis.** RFID technology has been on the rise only in the last few years (mainly in Slovakia), and it is usually deployed only by the most significant corporate companies [1]. These facts point to the relative novelty of the technology as well as lingering concerns and doubts [2]. The most common reason for the deployment of this technology is the effort to track products or goods. However, RFID also plays a significant role in improving storage, simplifying, and streamlining warehouse operations or maintenance [3].

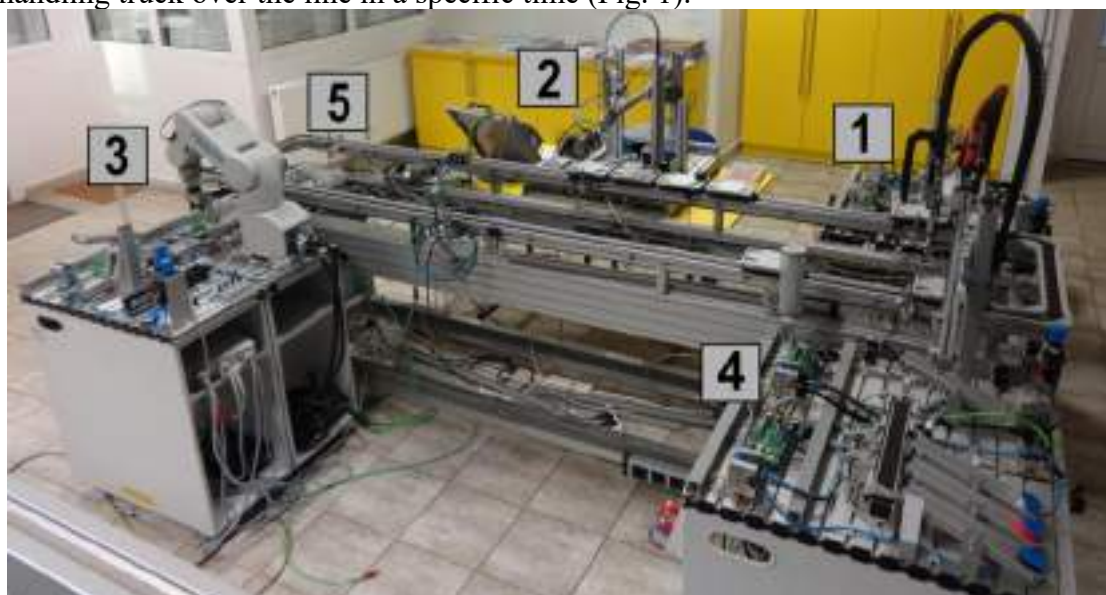
Most corporate companies that have already decided to implement RFID in their processes, lines, etc have never regretted this move because they realized that the technology opened up new opportunities and shortened payback time. Thus, some companies seem to be slowly and gradually beginning to realize the potential of RFID technology and are preparing to seize this opportunity [4]. Two fundamentally different RFID design approaches for transferring power from the reader to the tag: magnetic induction and electromagnetic (EM) wave capture. These two designs take advantage of the EM properties of an RF antenna - the near field and the far-field. Depending on the tag type, both can transfer enough power to a remote tag to sustain its operation - typically between 10 $\mu$ W and 1mW [5].

Future research should focus on comparing more than two to three automation practices like MRP, VMI, and RFID to give a more realistic view of the impact of inventory automation practices on the operational efficiency of manufacturing firms. The objective measurement will provide more accurate information for better analysis. The same study can be applying to other sectors like textile, chemical, and retail [6].

**Analysis of existing research and publications.** Previously published research in RFID technology deployment confirms its undeniable advantages for corporate companies and individual requirements. At the same time, it is necessary to point out the remaining concerns (mainly) of SME companies, which are afraid of the initial investment costs. However, current research has shown the rise of this technology and the undeniable savings that will accrue to both suppliers and customers.

**Article objective.** This paper aims to implement and subsequently test the usability of RFID technology on a specific example of an automated workplace of FESTO. The document includes both configuration (hardware and software) and an outline of a solution for processing the obtained RFID data.

**General overview of the system.** By introducing RFID technology at our selected automated workplace from the FESTO Company, we will better understand the process performed on this line. Using RFID, we want, e.g., to record the time of each operation and the time the product spent on the line. At the same time, it is possible to evaluate the number of passes of the handling truck over the line in a specific time (Fig. 1).



*Fig. 1. FESTO automated line with its stations*

The automated workplace consists of the following five stations: (1) distribution and testing station, (2) handling and processing station, (3) assembly station with industrial robot, (4) handling and sorting station, (5) conveyor system.

In the beginning, it is necessary to get acquainted with the product on which we will verify the proposed solution. It is crucial because of the processes on this automated line (Fig. 2).



*Fig. 2. Decomposed product*

There are three types of these products on the line. We can find differences in height, material, color, or weight (Fig. 3).



Fig. 3. Assembled product types

The hardware configuration consists of the interconnection of individual components, considering their technical parameters and deployment suitability for the selected automated FESTO system, Fig. 4. Since this workplace has IO-Link technology, we suppose the sensors will be connected using a superior IO-Link master device that will communicate with the PLC. For optimal functionality, it is necessary to use a PLC from Siemens (S7 – 1200).

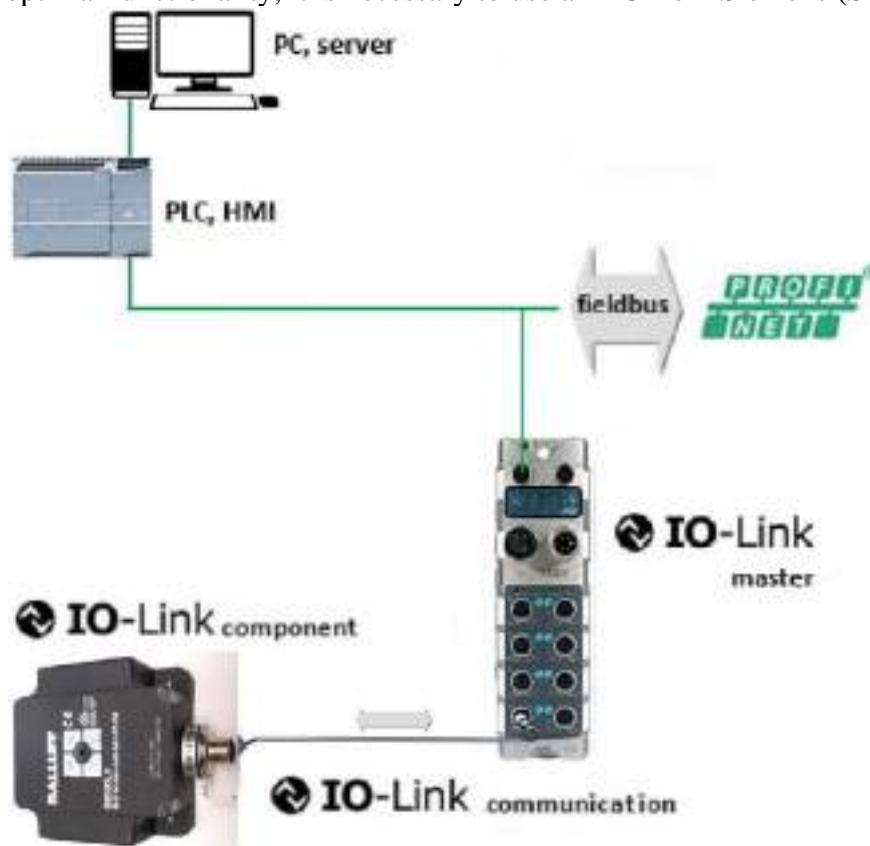


Fig. 4. Hardware configuration setup

The sequence of steps for the hardware configuration of RFID technology for the selected automated FESTO system can be described in the following steps:

- We are creating a new program in the operating software environment from Siemens (TIA Portal). This step includes selection, the addition of the necessary hardware (reading head from BALLUFF, IO-Link master, sensors, and more), and inclusion of a tree of the new program in the project.
- Correct configuration of (previously added) hardware in a software environment is the next step in hardware implementation. This step is necessary to upload the so-called "GSD" component file for the respective IO-Link master. These files are in open access and are usually provided directly by the hardware manufacturer.

- The next step is implementing the connection and network configuration of the used components in the project tree. The content also includes the setting of the PROFINET network. Part of this step is also assigning the IO controller between the PLC and the IO-Link master.

- If the implementation of the steps mentioned above is successful, the IP address of the IO-Link master will be set. Part of this step is to set the IO-Link device ports and I / O bytes for each device (RFID head, sensors...)

*Software configuration* and management of the RFID read head is necessary mainly to collect and process the acquired data, which is possible from the RFID tags. The data collection set up in this way can function as a "stand-alone" solution or being connected to a superior SCADA information system. The creation of the software together with the complete software configuration presupposes the implementation of the following steps:

- Download, open and load a global library of all necessary devices for data collection and evaluation from the automated FESTO workplace. The library also contains the program required and data blocks, which we gradually insert into the organizational "Main" program.

- The next step is to open the organizational "Main" program and assign individual inputs and outputs. In this section, you can set functions such as start, reset, dynamic data acquisition mode, start address, and much more.

- The follow-up and final activity are copying these inputs and outputs to the "Watch" table. Part of the step is to turn on the online mode and monitor the set parameters. Some of them still need to be reset.

We can visualize the processing and collection of acquired data as a general. It is possible through an application running on an HMI panel from Siemens (SIMATIC KTP 700 BASIC). It has a 7-inch widescreen color display and eight function keys. It can be operated by touch or using buttons. It uses the PROFINET interface to connect to a PLC. In addition, it contains a USB interface with which we can click a keyboard, mouse, or other devices. The application screen (Fig. 5) includes a switch displayed in the upper left part, and its task is to switch between readings and write mode. There are also START and RESET buttons on the application screen, located at the top of the screen.

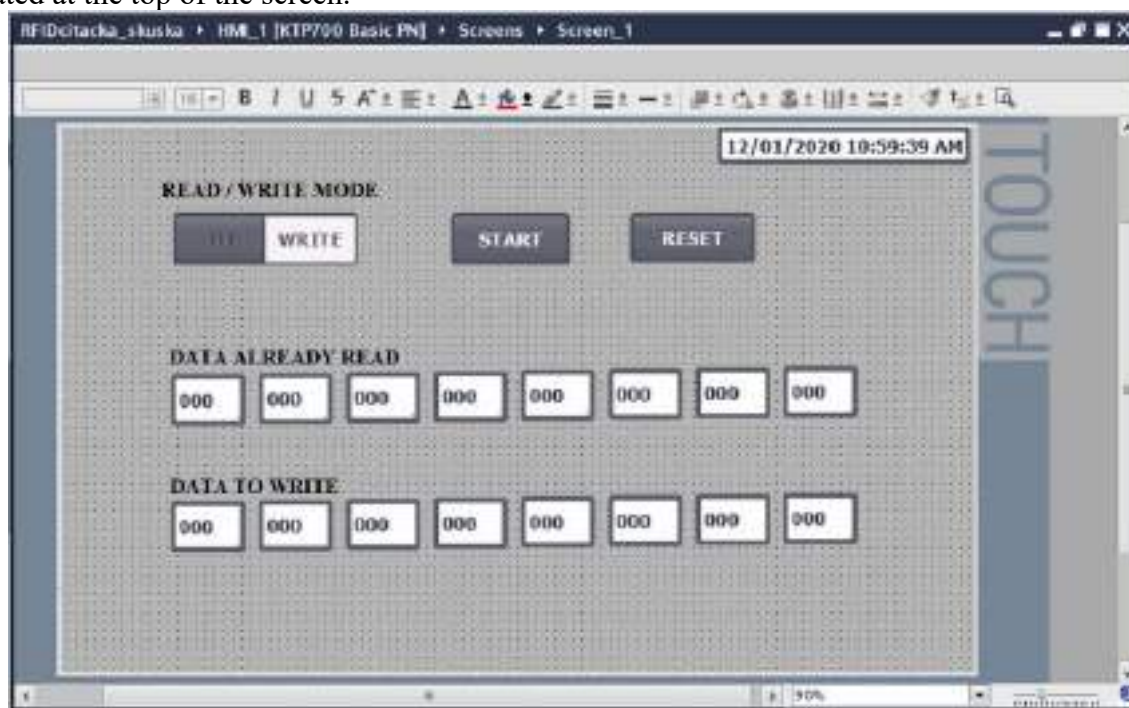


Fig. 5. The application screen at Siemens HMI panel

The START button has the function of starting the reading or writing of data to the RFID tag. We can use the RESET button when changing the reader mode. It is due to ensuring the default state of the processor. In addition to this function, we can also be resetting the writing data. It is displaying in the corresponding boxes at the bottom of the screen. Finally, we can show the read and write data. Since the RFID read head works with a hexadecimal system, we can see the read data in this form. The data entered must also be entered in hexadecimal.

Different architectures are used to collect and process RFID data, and their selection depends on many parameters. For example, RFID data can be corrupting, incomplete, or redundant. The selection and reliability of the RFID read head is also a decisive factor. One of the suitable products for complete processing, visualization, and publication of acquired data can be using the software product "RFID Middleware." It is software that is directly designing for RFID data management and communication within corporate information systems.

This software is using to control the flow of data between RFID readers and enterprise applications. It also filters, aggregates, and gives meaning to the data obtained from RFID tags (Fig. 6).

Middleware provides data routing using various transmission protocols, data translation into multiple formats, and various web services. In addition, RFID middleware usually includes data filtering because sometimes an application may only require a specific type and value of data from tags.

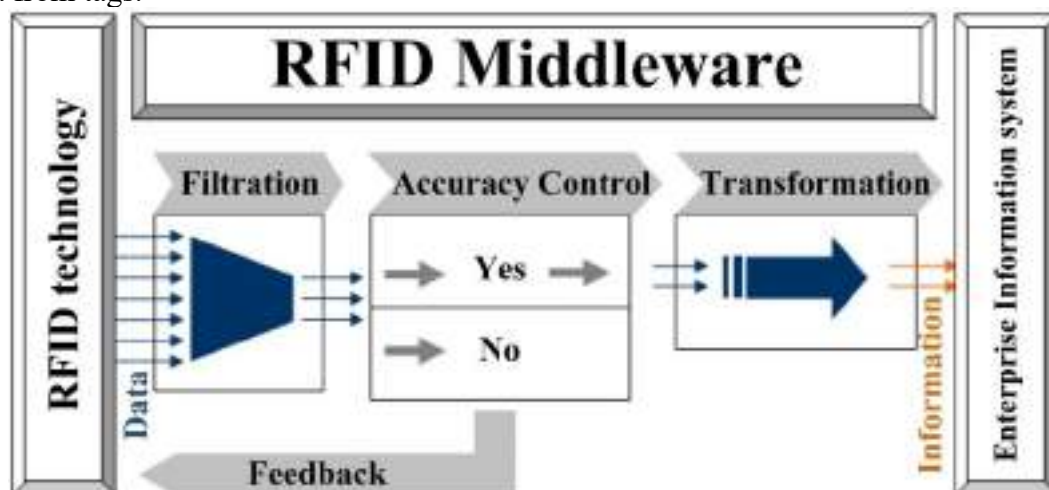


Fig. 6. RFID Middleware [7]

RFID data usually have enormous information, which can lead to the accumulation of their large volumes. In addition, it may lead to slower updates. An essential finding of RFID data is that they usually have a limited lifespan, from when they are first tagged until delivered to the customer. Therefore, they are dividing into an active RFID data set corresponding to frequently updated items and an inactive data set that is no longer updated as often. It makes most data passive over time, speeding up queries for operational data over its lifecycle [7].

**Conclusions.** Despite the current COVID situation globally, RFID technology has its irreplaceable place and potential for application in various areas of trade and production. It is even likely that this (probably unplanned) slowdown in the world economy may positively impact the increasing demand for this type of technology. Moreover, properly implemented, they are a powerful means of optimizing costs and increasing competitiveness. In our case, it is necessary to note that part of the hardware and software equipment is already at FESTO automated workplace (located at our laboratory). This project is currently in the unfinished phase, and it is only necessary to purchase additional RFID heads and condition monitoring sensors (worth up to 2,000 euros). Ongoing activities will focus on selecting the appropriate process for monitoring and collecting the necessary data.

**Acknowledgment.** This work is supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19 - Research and design of algorithms and systems to fuse heterogeneous data in multisensor architectures and KEGA 044TUKE-4/2021- Remote access to laboratory exercises for industrial automation.

### References

1. Kour, R.; Karim, R.; Parida, A. & Kumar, U. (2014). *Applications of radio frequency identification (RFID) technology with eMaintenance cloud for the railway system*. International Journal of System Assurance Engineering Management, 5(1), p. 99–106.
2. Huba, M.; Kozák, S. (2016). *From e-learning to Industry 4.0*. ICETA 2016. Danvers: IEEE, p. 103-108.
3. Tůma J.; Wagnerova R.; Farana, R.; Landryova, L.; (2007). *Fundamentals of automation*. (In original: Základy automatizace). Ostrava: VŠB, Technická univerzita Ostrava, p. 288.
4. Heynicke, R.; Krush, D.; Cammin, C.; Scholl, G.; Kaercher, B.; Ritter, J.; Gaggero, P.; Rentschler, M. (2018). *IO-Link Wireless enhanced factory automation communication for Industry 4.0 applications*. Journal of Sensors and Sensor Systems. DOI 10.5162/sensor2017/A8.1.
5. Kaur, M.; Sandhu, M.; Mohan, N.; Sandhu, P. (2011). *RFID Technology Principles, Advantages, Limitations & Its Applications*. International Journal of Computer and Electrical Engineering. P.151-157.
6. Panigrahi, R.R.; Jena, D.; Jena, A. (2021). *Deployment of RFID Technology in Steel Manufacturing Industry—an Inventory Management Prospective*. Advances in Machine Learning and Computational Intelligence edition. Algorithms for Intelligent Systems. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-15-5243-4\\_67](https://doi.org/10.1007/978-981-15-5243-4_67).
7. Sarac, A. (2010). Modeling and decision support for introducing RFID technologies in supply chains. Dissertation thesis at Ecole des Mines de Saint-Étienne. P. 198.

Отримано 17.07.2021

УДК 621.941-229.3:621.396.9:004.73

**Марек Вагаш, Алена Галайдова**

<sup>1</sup> доктор технічних наук, доцент, факультет машиностроєння  
Технический университет Кошице (Кошице, Словачія)

E-mail: [marek.vagas@tuke.sk](mailto:marek.vagas@tuke.sk). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8660-8484>

<sup>2</sup> професор, факультет машиностроєння

Технический университет Кошице (Кошице, Словачія)

E-mail: [alena.galajdova@tuke.sk](mailto:alena.galajdova@tuke.sk). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-0128-4191>

### МОНІТОРИНГ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ТЕХНОЛОГІЇ RFID

Важливо вказати на необхідність впровадження інноваційних технологій (таких як RFID). Причини в основному в автоматизації складних виробничих ліній і цілих технологічних процесів.

Метою статті є представити можливості технології RFID та реалізувати їх на певному автоматизованому робочому місці від компанії FESTO. Інший намір - окреслити можливості обробки отриманих таким чином даних.

Попередні публікації та дослідження доводять, що технологія RFID вже широко поширена у світі і використовується переважно великими компаніями. Проблемою є обробка отриманих даних та їх зберігання, відображення в хмарі.

У цій сфері найчастіше використовується комплексне та повне рішення сторонніх виробників, таке як "RFID Middleware". Тим не менш, ми вважаємо за необхідне вирішити проблему обробки даних за допомогою цієї технології, а також їх зберігання в хмарі.

Метою статті є представити можливості технології RFID та реалізувати їх на певному автоматизованому робочому місці від компанії FESTO. Інший намір - окреслити можливості обробки отриманих таким чином даних.

Метою статті є впровадження технології RFID в існуюче автоматизоване робоче місце від компанії FESTO. Акцент робиться на програмно-апаратній конфігурації необхідних підкомпонентів.

Цілком ймовірно, що незважаючи на ситуацію, що триває у світі з COVID, технологія RFID буде впроваджена в більшій мірі. Уповільнення економіки може призвести до запуску процесів оптимізації витрат та підвищення ефективності процесів та послуг.

**Ключові слова:** Технологія RFID; автоматизоване робоче місце; датчик; BALLUFF.

Рис.: 6. Бібл.: 7.



**Róbert Rákay**

Assistant Professor, PhD in Technical Sciences  
Technical University of Kosice (Košice, Slovak)

E-mail: [robert.rakay@tuke.sk](mailto:robert.rakay@tuke.sk). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7151-3749>

**MONITORING OF ENVIRONMENT PARAMETERS BASED  
ON WIRELESS SENSOR NETWORK**

*The main goal of the article is to design an automated wireless sensor system to monitor environment parameters from different locations. If we want to control our environment, we have to know the measurable parameters of it. These parameters are temperature, humidity, light intensity, etc. All of these measurements can help us to improve the efficiency of home automation systems or to save money. The theoretical part contains an overview of the technologies used for the design of a system. The next part contains an explanation of the software part of the work and the electrical interconnection of the equipment used. The last part is devoted to the cloud environment where the data was collected and visualized.*

*The article presents the results of scientific-methodological research (description of the problem, task).*

**Keywords:** sensor network; cloud; wireless communication.

*Fig.: 9. Table: 2. References: 11.*

**Urgency of the research.** Automated data collection and its accessing is a must in modern sensor networks. For the purpose of a solution explanation an example system is proposed. This kind of automated systems are not limited by location only by the power and network connectivity.

**Target setting.** The main goal of this work is to design and test a wireless data collection system for measurement of light intensity, temperature and humidity from different locations.

The proposed system should document the necessary steps to create such monitoring system, which consists of microcontrollers with wireless communication interface, sensors and the cloud infrastructure to collect and process data.

**Actual scientific research and issues analysis.** Currently, wireless solutions are becoming the standard for their easy implementation and expansion. In the field of wearable, home and industrial automation we find different communication and data collection solutions. Home automation systems integrates devices from various vendors. All these devices are networked to monitor and control the environment around us in everyday life. By application of sensors to our surroundings we can collect and use the available data. These data allow us to get top of our energy use, optimize our systems and save money [1-3].

There are available cloud infrastructures and services to help us with data visualization and analysis. In our case the Ubidots cloud system was used [2-5]. The cloud support devices as microcontrollers and smart sensors enable to collect, save and process data. The data is not passively collected but also there are functions to interact with the real world [7-8]. Technical progress in this area brings constant innovations. The dominant feature of today automated system is to work autonomously without human control [6-11].

**Uninvestigated parts of general matters defining.** As wireless communication can be based on different protocols and it is not possible to test them in one study. The following article will focus on Wi-Fi based network devices and their interconnection via cloud system.

**The research objective.** The objective of the article is to propose an automated system that collects data from different locations and that data can be accessed from any location on the globe with internet connection. This type of technical solution is suitable as a template solution for different parameter measurement in various locations e.g. vibrations, noise, fire, movement, etc. For the technical parameters of used devices, the application shouldn't be placed in harsh industrial environments.

**The statement of basic materials.** For this task we used the following components:

As we are creating a low-cost wireless monitoring system the ESP32 microcontroller was one of the most suitable for the application. It integrates a low-power system on a chip and also dual-mode Bluetooth and Wi-Fi interfaces. With its Tensilica Xtensa LX6 microprocessor, variations of

ESP32 with dual-core and single-core options, internal or external antenna switches, RF balun, power amplifier, low-noise receive amplifier and other modules are available. In our particular solutions the ESP-WROOM-32 boards were used. These boards have the following specifications:

- dual core processors
- Wi-Fi and Bluetooth interface
- The clock frequency of processor: 240MHz
- Processing memory: 512 kB RAM
- 30 pins, 15 on each side with different programmable functionalities.
- Integrated peripherals: capacitive touch, ADCs, DACs, UART, SPI, I2C
- built-in hall effect sensor and built-in temperature sensor [2-3].



Fig. 1. ESP-WROOM-32

For the purpose of testing and datapoint generation, a combined temperature and humidity sensor, the DHT11 was used. The sensor is based on negative temperature coefficient principle (NTC) to measure temperature. After that an 8-bit microcontroller outputs the values as serial data. Because of the factory calibration it's easy to interface with any microcontrollers, and there are a lot of available example solution for implementation of this sensor.

The measuring range for the temperature is from 0°C to 50°C and humidity from 20 % to 90 %. The accuracy is  $\pm 1^\circ\text{C}$  and  $\pm 1\%$ . The resolution for measurements is 16-bit.

Table 1

DHT11 pin-out

1	Vcc	power supply 3.5V to 5.5V
2	Data	Outputs both Temperature and Humidity through serial Data
3	Ground	Connected to the ground of the circuit

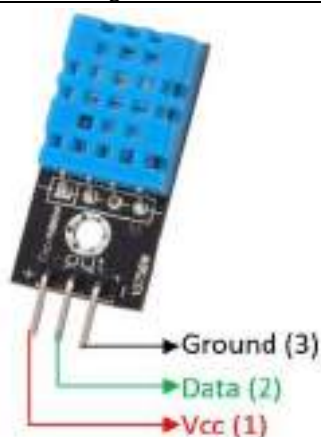


Fig. 2. DHT 11

As we are monitoring household environment we wanted to measure the light intensity. For that purpose, a photoresistor or the Light Dependent Resistor (LDR) was used. These are non-oriented bipolar devices, meaning they can be connected in any direction in the dc circuit. LDRs are used to sense Light. They can be soldered or used on prototyping breadboards. Because of the resistor-like characteristics it's easy to connect them to microcontrollers.

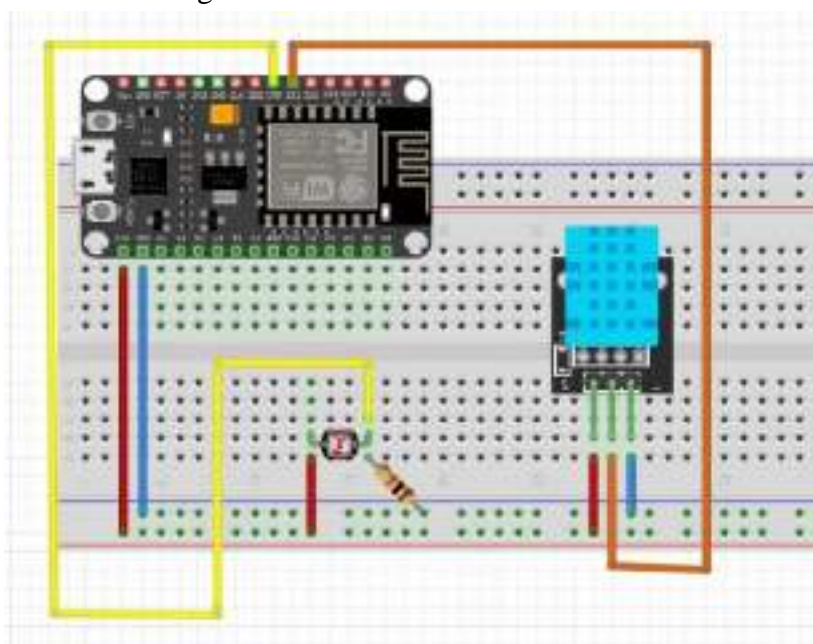


*Fig. 3. Photoresistor*

A light dependent resistor will change its resistance based on the light intensity around it. Without light source around it, or in a totally dark room it will have high resistance. On the other hand with rising light intensity the resistance will decrease to a few Ohms.

In our system the LDR was connected in a voltage divider to the analog input of the ESP. This means that there was constant current flow through the photoresistor and a classic resistor, where based on the light intensity the resistance varied. The ESP measured and processed the voltage with its ADC and the processed values were uploaded to the cloud.

The following wiring diagram was created in Fritzing and represents the real electrical connection of the control unit and the sensors. As the power supply and USB cable or power bank was not shown in the diagram below.



*Fig. 4. Wiring diagram*

#### **Used method and measured data.**

The Ubidots cloud environment offers multiple subscription program, with restriction on number of devices, variables and datapoint uploaded during 24-hour cycle. In our system we used the stem subscription, which is free, but limited to 3 devices, with total of 20 variables. On the cloud platform, it's possible to create multiple dashboards with user like limitations. These dashboards are used to visualize widgets based on the uploaded data, or variable. There are available multiple types of indicators, and calculated numerical tools, e.g. graphs, bar chart, tables, histogram, gauges, pie chart, scatter and others.

Each user has their API key, token to be identified, while the devices use ID numbers. Within a device, there are the variables with API label and ID. These raw values can be processed or downloaded from the backend of the cloud.

All the measurement stations had the same principle of program. The identifiers and the variables were defined at the setup part. The loop of data collection and sending was repeated after that. A 10-minute cycle was chosen for measurements and upload because of the datapoint limitations.

A simple flowchart of used code is shown in figure below. Main code is executed in a loop and runs while the ESP is powered on.

The DHT 11 works at 16 Bit resolution and maximal sampling rate 1 second.

The temperature and humidity sensor uses a predefined library which controls if the measurement is successful or not, and in that case we can also create an action to check our device, or to light up a control indicator on the cloud interface.

The measured values are not corrected by any coefficient and not compared to any reference values. This system was a proof of concept and not laboratory accurate measurement system. For home environment monitoring and testing the accuracy is acceptable. The calibration of the sensor should be carried out at laboratory environment with comparison to a professional measuring device. After that the values should be corrected and a separate library for new values would be created. However, the sensor has  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  and 5% accuracies which is more suitable for hobby applications.

The communication is based on Wi-Fi data transfer – 802.11 b/g/n while the newer versions of this microcontroller are updated with IEEE 802.15.4 connectivity as well. The reliability of the connection is based on the Wi-Fi standard. The malfunction of the measuring stations can be monitored and used as a signal on the cloud interface and can be also integrated to the control program of the microcontroller.

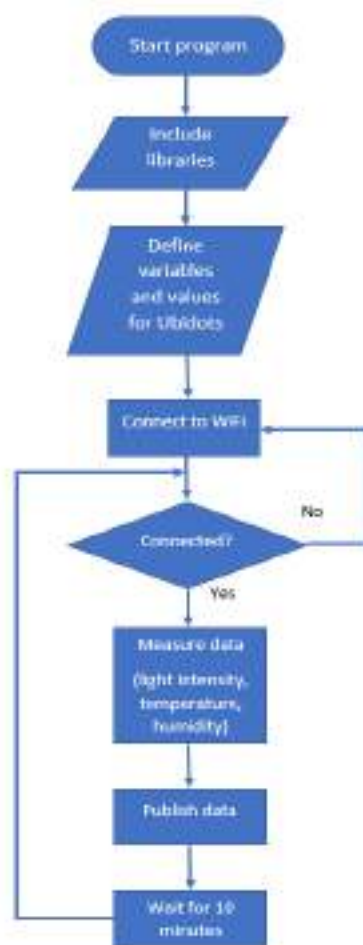


Fig. 5. Flowchart

Cloud platforms and solutions enable the use of remote data centers before building your own IT structure. Thanks to the cloud, the company's employees are not tied to specific work-places or workstations. The following section compares multiple cloud platform that are available for developers.

Microsoft Azure is an advanced, secure platform from Microsoft that accesses the company's data centers. It integrates tools, pre-built templates, and managed services that accelerate the creation and management of enterprise, mobile, and web applications. It has been designed to handle variable workloads, from small development test projects to global product launches. [29]

Azure provides more than 600 different services that focus on: computing services, mobile services, storage services, database services, messaging, content delivery services, development services, machine learning and more.

Amazon Web Services – AWS is a platform that provides cloud services to individuals, companies and governments on a subscription basis. The technology allows customers to have a set of virtual computers available via the Internet. AWS virtual machines have the same attributes as real computers, they are hardware (CPU, GPU, RAM, storage), optional operating system, networking and various applications. Every single virtual device is also equipped with virtual input / output elements that allow access through a browser from anywhere in the world. The browser works like a window into a virtual device, just as if it were a real computer.

AWS has implemented server "farms" around the world that make services available to customers. The price of individual services is formed by a combination of the use of hardware / software / OS / connection and the required availability, security and use. Like all other cloud platforms, AWS provides services for computing, storage, device connectivity, database systems, analytics, application services, management, development tools and the Internet of Things. The most popular tools are Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) and Amazon Simple Storage Service (S3). Most features are not available to end users but are part of developer applications.

Google Cloud Platform is a set of cloud services. It offers the same or very similar services as other suppliers. The most frequently used services include:





- App Engine - PaaS for accessing applications;
- BigQuery - IaaS designed for large database analyzes;
- Cloud AutoML - a set of tools for machine learning;
- Compute Engine - IaaS providing virtual machines;
- Storage- IaaS storage for online files and objects.

In addition to the intermediaries mentioned above, others are also available, such as: IBM Bluemix, Ubidots Cloud, Thingworx, Pivotal Big Data Suite, olOne, CloudMe, Baidu Cloud, Dropbox, Predix.

In the following table 2 is a comparison of some cloud service providers.

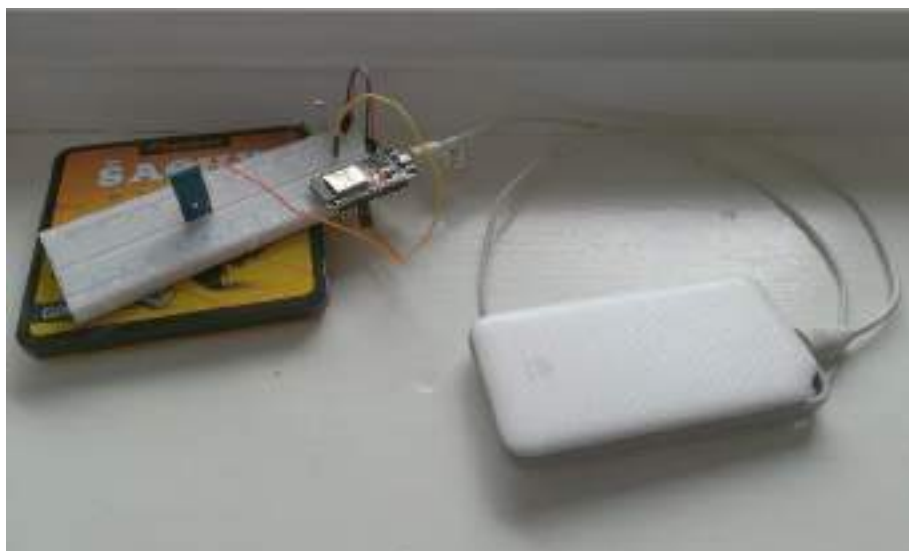
Table 2

**Comparison of cloud platforms**

	<b>Ubidots Cloud</b>	<b>Thingworx</b>	<b>Pivotal Big Data Suite</b>	<b>C3 Energy Management</b>
<b>Operation system</b>	Mac, Linux, Windows	Web browser	Windows	
<b>Types</b>	Online	SaaS	Installed	Installed
<b>Op. Field</b>	Healthcare, Oil industry, IT, device development	Healthcare, Machines, Devices, IT, device development	Automotive Industry, Telecommunication, IT, device development	Electronics, embedded systems, Machines, Devices, IT, Diagnostics, Logistics
<b>Price/ Availability</b>	Average/ Amount limited test version	Average/ Time limited test version	Priemerná	Lower price/ No test version
<b>Preview</b>				

Out of the available cloud platform the Ubidots was chosen for testing.

Each of the measuring station has loaded code into the ESP32 and performed measurements for 48hrs. Some of the stations were using powerbanks as a power supply, but it's not compulsory. Electric consumption of ESP32 is low, so it could easily power up the components for the entire time of measurement. Data was sent to UBIDOTS in 10-minute intervals. An example of the measurement station setup is shown on the following figure.



*Fig. 6. Measurement station*

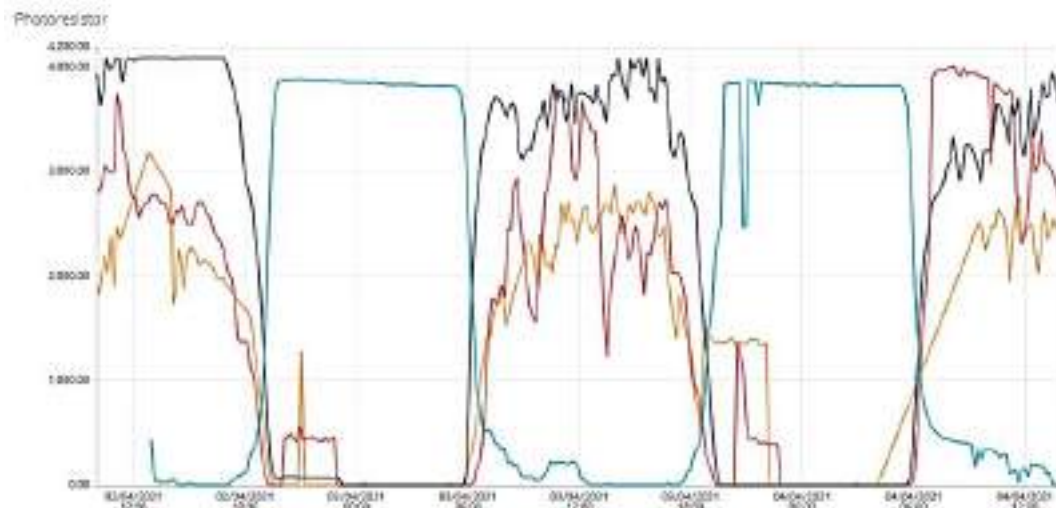
The data was sent to one UBIDOTS account, with two created devices, and each device was collecting 6 variables – intensity of light, temperature and humidity from two people. This was performed because of the restrictions of the free version of the cloud, it's not possible to create more than 3 devices separately. In the figure below a dashboard from UBIDOTS is created, where graphs are representing the measured data. Each line represents different ESP unit.



*Fig. 7. Dashboard in Ubidots*

Figures below represent the collected data. This data can exported from Ubidots to .xlsx document, but they are suitable for further evaluating or processing also. There are available tools to indicate limit values, to turn on alarms, or send a report of collected data.

*Light intensity*



*Fig. 8. Light intensity*

The highest recorded value was 4095, which is also the limit value, was recorded by several photoresistors in sunny afternoons of monitored days.

*Temperature*



*Fig. 9. Temperature*

The highest and also the lowest temperature was recorded by the same DHT11. The warmest value was due to direct sunlight onto the measurement unit. The coldest was due to placement of the whole unit, as it was placed on the windowsill and was caused by opened window.

*Humidity**Fig. 10. Humidity*

Humidity was usually kept between 40 to 60%. Lowest recorded value was caused by exposing the DHT11 to direct sunlight.

The acquired values are so-called raw values and every measurement is uploaded instantly to the cloud database. The microcontroller process the measured values in every program cycle and there is no local post processing. As a part of further data processing there are various tools as a part of the cloud environment such as average value for given time interval and also personal post processing is available with the developer tools.

The next table shows the maximal and the minimal recorded values.

Table 3

*Lowest and highest values*

	Photoresistor	Temperature [°C]	Humidity [%]
Maximal	4095	39,9	60
Minimal	0	13,2	18

**Conclusions.** The testing and measurement was performed for 48 hours and collected data was sent via the Wi-Fi module to cloud. There were some problems with connection, which we were continuously fixing when they have been detected. Sometimes ESP get stuck and stopped sending data. Desired behavior of the unit was then restored by pushing the EN button. Data was evaluated in Dashboard by creating graphs.

The article described the proposal and testing of an automated wireless monitoring system for measuring light intensity, humidity and temperature. All the data was sent to a cloud system, Ubidots, which is suitable for data monitoring, processing and logging. The sensor stations were based on ESP microcontroller, dht11 sensor and LDRs. The designed monitoring system offers the possibility of expanding it with other functionalities. The system can be supplemented with other sensors, and the cloud interface with new functions and rules to analyze the collected data.

The next step should include the possibility to interact with the environment by controlling the heating, ventilation and the light source in the monitored environment.

**Acknowledgment.** This work is supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19 - Research and design of algorithms and systems to fuse heterogeneous data in multisensory architectures and KEGA 044TUKE-4/2021- Remote access to laboratory exercises for industrial automation.

**References**

1. Miralles J. Monitoring temperature and humidity. URL: [http://www.hackster.io/jaume\\_miralles/monitoring-temperature-and-humidity-with-esp32-f53465](http://www.hackster.io/jaume_miralles/monitoring-temperature-and-humidity-with-esp32-f53465).
2. Getting Started with the ESP32 Development Board. URL: <https://randomnerdtutorials.com/getting-started-with-esp32/>.



3. LEE, J. What Separates IIoT From IoT: Uses and Priorities. [online]. 2017; 10 (27). URL: <https://dzone.com/articles/what-separates-iiot-from-iot?fromrel=true>.
4. 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.
5. RAUT, S. What is the difference between Consumer IoT and Industrial IoT (IIoT)? [online]. 2017; 2 (20). URL: <http://customerthink.com/what-is-the-difference-between-consumer-iiot-and-industrial-iiot/>.
6. 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.
7. Mechatronics and factory automation. [online]. URL: [https://www.expo21xx.com/office21xx/15665\\_st3\\_technical/default.htm](https://www.expo21xx.com/office21xx/15665_st3_technical/default.htm).
8. Kelemen, M. and Sinčák, P.J., Programmable logic controller training stands for educational purposes. 2020. Technical Sciences and Technologies. 21(3), p.274-280.
9. Vagaš, M., Šeminský, J., Selected aspects and specifics of the robotic arm programming at automated workplaces 2020. Technical Sciences and Technologies. 21(3), p.203-208.
10. Marcinko, P., Koščák, J. Experimental method for verification of performance criteria of the industrial robots, 2020. Technical Sciences and Technologies, 22(4), pp. 42-47.
11. 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.

Отримано 02.07.2021

УДК 004.5

**Роберт Ракай**

кандидат технічних наук

Технічний університет Кошице (Košice, Slovak Republic)

E-mail: [robert.rakay@tuke.sk](mailto:robert.rakay@tuke.sk). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7151-3749>

## МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОСНОВІ БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ

*Автоматизований збір даних та доступ до них є необхідним у сучасних мережах датчиків. З метою пояснення рішення запропоновано приклад системи.*

*Основною метою цієї роботи є розроблення та випробування бездротової системи збору даних для вимірювання інтенсивності освітлення, температури та вологості з різних місць. Запропонована система повинна задокументувати необхідні кроки для створення такої системи моніторингу, яка складається з мікроконтролерів з інтерфейсом бездротового зв'язку, датчиків та хмарної інфраструктури для збору та обробки даних.*

*Нині бездротові рішення стають стандартом для їх легкої реалізації та розширення. Системи домашньої автоматизації об'єднують пристрої різних постачальників. Застосовуючи датчики до навколишнього середовища, ми можемо збирати та використовувати наявні дані.*

*Оскільки бездротовий зв'язок може базуватися на різних протоколах, і неможливо перевірити їх в одному дослідженні.*

*Метою статті є запропонувати автоматизовану систему, яка збирає дані з різних місць і до яких можна отримати доступ з будь-якого місця на земній кулі.*

*Тестування та вимірювання проводилися протягом 2 днів, а зібрані дані надсилалися через модуль WiFi у хмару. Дані були оцінені на інформаційній панелі шляхом створення графіків. У статті описано пропозицію та випробування автоматизованої бездротової системи моніторингу для вимірювання інтенсивності світла, вологості та температури. Усі дані були надіслані до хмарної системи Ubidots, яка підходить для моніторингу, обробки та реєстрації даних. Станції датчиків базувалися на мікроконтролері ESP, датчику dht11 та LDR. Розроблена система моніторингу пропонує можливість її розширення іншими функціональними можливостями. Система може бути доповнена іншими датчиками, а хмарний інтерфейс - новими функціями та правилами для аналізу зібраних даних.*

**Ключові слова:** мережа датчиків; хмара; бездротовий зв'язок.

*Рис.: 9. Табл.: 2. Бібл.: 11.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-202-212

УДК 004.65

**Влада Ліпська**

здобувачка вищої освіти

Національний технічний університет України

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

E-mail: [vladkalipskaya@gmail.com](mailto:vladkalipskaya@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9847-7637>**СПОСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕПЕРСОНІФІКАЦІЇ БАЗ ДАНИХ**

Тема є актуальною через необхідність захисту персональних даних під час зберігання чи використання у різних системах, тому попит на анонімізацію даних закономірно з кожним днем зростає. Розглянуто відомі способи статичних замінів, побудов реляційних даних та залежних від заданих математично кривих даних, і запропоновано метод покращення результатів – поєднання відомих способів замінів із штучним синтезом даних на основі їх природи, враховуючи математичні показники. Метод було перевірено експериментально та висвітлено результати такого застосування з аналізом.

**Ключові слова:** деперсоніфікація, анонімізація, дані.

Рис.: 12. Табл.: 2. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні майже в усіх системах відбувається взаємодія з персональними даними користувача. Таких прикладів є безліч, щонайменше деякі з них можна зустріти щодня - режим “не турбувати” на телефоні, дані здоров’я на трекерах під час занять спортом, заміри для додатків здорового харчування, геолокації на картах, збереження історій поїздок, відмітки улюблених місць, збереження вкладень у різних браузерях, інформація банківських карток чи обраний набір товарів. То ж, відповідно відбувається стрімке розповсюдження та зберігання персональних даних, які потім часто використовуються для цілей бізнесу (застосування таргетованої реклами для специфічної групи осіб, надсилання повідомлень зі знижкою на певний товар користувачам зі схожими вподобаннями, рекомендації при виборі послуги чи товару...). Існує декілька можливих напрямків використання даних користувача. Один з них - це передбачення поведінки конкретних осіб на основі аналізу їх попередніх дій, а інший - передбачення поведінки нової групи схожих осіб. Схожість однієї множини на іншу визначається за допомогою характеристик («features»), які були обрані для аналізу. Яскравою ілюстрацією є платформа Netflix. Рекомендації системи для користувача застосовуються майже всюди [1]. Працівники компанії емпіричним шляхом з’ясували, що чим більше персональних показників застосовуються, тим більш точні результати отримуються [1]. То ж, у проєктах компанії навіть почали використовувати дані про друзів з Facebook, щоб зрозуміти соціальний стан людини та з урахуванням кола спілкування пропонувати відповідний матеріал. Після декількох експериментів було з’ясовано, що рекомендації на основі персональних даних працюють краще в близько 5 разів, ніж на основі загальних рейтингів. Проте цікавим спостереженням і ефективним рішенням виявилось поєднання персональних даних та загальних рейтингів. Тобто спершу обиралась вибірка найкращих фільмів певної кількості, а потім рейтинг не мав значення і відбувався аналіз на основі персональних характеристик користувачів, яким рекомендуються фільми. Працівники компанії пов’язують це з соціальними звичками людей - здебільшого люди тяжіють до перегляду популярних фільмів через більшу вірогідність спільних вподобань з друзями, знайомими [1]. Отже, з точки зору бізнесу було ефективним поєднати метрику популярності з персональною метрикою потенційного задоволення від перегляду контенту. Таким чином, описаний випадок є підтвердженням, що інформація про користувача може бути використана у не зовсім очевидних галузях. Розглядаючи, таке застосування, можемо говорити про машинне навчання, а при тренуванні моделі не потрібна ідентифікація певної людини, достатньо знати, що люди зі схожими параметрами, ймовірно, будуть поводитись очікуваним чином з певним відсотком ймовірності (або лише «будуть поводитись так» та

«не будуть поводитись так» - значення у випадку задачі класифікації). Під задачею класифікації прийнято вважати необхідність віднесення до певного класу той чи інший набір даних, поведінку якого потрібно передбачити.

Безумовно, велика кількість конкретних даних надає певну свободу бізнесу, проте зі свободою приходиться і відповідальність. Через недбале користування можна завдати шкоди користувачам, що зумовлює відповідальність на рівні законодавства. Тоді з'являється поняття деперсоніфікації - процес вилучення характеристик даних, за якими можна визначити конкретну особу (номер картки платника податків, прізвище...). Розглянемо приклад задачі з описаною потребою: припустимо, що є дві системи. Одна система містить дані своїх користувачів за декілька років, а інша система наразі лише в розробці (тобто немає користувачів платформи ще), але дуже схожа на першу і має доступ до даних першої системи. При додаванні певних функцій до нової системи може бути важливим розуміння поведінки потенційних користувачів. Таким чином, дані потенційних користувачів можуть стати у нагоді для аналізу та розробки нової системи, проте саме персональні дані не надто важливі, бо їх важко застосувати в новій системі (такого користувача просто немає ще в ній). Така ситуація трапляється при переході зі старої версії послуги на нову та при погодженнях корпорацій про обмін досвідом чи даними між проектами, розробками.

Також у галузі машинного навчання інколи можна натрапити на проблему – недотренованості моделі (underfitting [2]) - що свідчить про те, що для тренування моделей і отримання якісних результатів недостатньо даних. Тоді вже на допомогу приходять один із методів - синтез штучних даних, який надає можливість отримання більшої вибірки і відповідно більш точних результатів.

Звісно, проблема недотренованості не завжди розв'язується додатковими даними, інколи варто побудувати графіки даних, подивитись чи немає аномалій чи певних виключних значень, а можливо є дисбаланс між значеннями самих ознак (features). Також не останню роль відіграє зберігання значень у єдиному масштабі. Проте якщо, виконавши усі кроки, проблема залишається, то необхідні додаткові пласти даних.

Отже, питання використання даних зараз розглядається у багатьох галузях та безлічі системах, для частини з них важливо деперсоніфікувати дані шляхом вилучення певних значень характеристик, а для іншої частини цього може бути недостатньо для результатів (точність не відповідає очікуваній), тоді пропонується застосування синтезу даних на основі існуючих.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з важливістю охорони персональних даних та одночасним попитом на рекомендаційні системи чи системи передбачення поведінки, гостро стоїть питання деперсоніфікації та синтезу даних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наразі існує багато досліджень деперсоніфікації даних та їх способів обробки, оскільки зараз стрімко розвиваються системи, що побудовані з використанням машинного навчання, основний предмет дослідження якого - це дані. І відповідно інструменти для таких задач теж користуються великою популярністю. Є рішення, що створені як портативні системи, то ж їх можна отримати, склонувавши репозиторій та запусивши локально. Рішення здебільшого дозволяють обробити дані різними методами підстановки, маскування, підміни чи заміни за допомогою регулярного виразу. Також, є подібні додатки, заточені більше для допомоги розробки систем і перевірки на навантаженість чи заповнення хоча б первинними даними, проте вони так само пропонують генерацію даних для уникнення використання реальних персональних даних. Вони дозволяють вказати діапазон даних, тип та застосувати реляційний підхід як у SQL-баз даних. Є інший вид розв'язку у деяких викладах - основний принцип базується на підході відтворення заданої математично кривої даних, щоб зрозуміти загальний розподіл та спроектувати нові результати, не порушуючи загальну концепцію. Кожен з

додатків вирішує певну проблему і може використовуватись у специфічних завданнях, що інколи не перетинаються між собою (тренування моделей чи тестування нового додатку, як приклад). Проте дана галузь досить широка, і зробити одне рішення, яке підходить для усіх завдань, неможливо. Дана робота пропонує метод деперсоніфікації даних шляхом поєднання заміни та синтезу даних з урахуванням статистичних результатів, екстраполюючи на необхідну кількість.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Наразі тема деперсоніфікації даних не є повністю вивченою, але вже активно застосовується у машинному навчанні. А саме при аналізі не вдалося знайти рішень, що пропонують вилучення персональних характеристик у поєднанні з синтезом даних, і при цьому зберігають природу існуючих даних. Окрім деперсоніфікації, синтез даних відбувається на основі математичних показників, тому природа даних зберігається, не порушуючи початкових параметрів, а нові дані опосередковуються та наближаються до існуючих під час генерації, що теж знижує шанси визначення конкретного користувача.

**Мета дослідження.** Мета цієї статті – визначити, чи може бути ефективною деперсоніфікація та синтез даних зі збереженням природи даних. Для досягнення цієї мети було проведено набір експериментів, які передбачають викладку аналітичних метрик, за якими здійснюється оцінка доцільності та якості проробленої роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Спершу варто зрозуміти, що саме розробляється і які результати оцінюються, оскільки сама тема передбачає вже певну проблему, яку можна вирішити різними методами. Також деперсоніфікація даних у нашому світі є доцільною через низку причин, таких як регламент захисту даних Європейського Союзу (GDPR) [3], можливі штрафи, кримінальна відповідальність осіб чи компаній, репутаційні збитки, суспільні резонанси, загальні віяння людей з намаганнями залишити менший “інформаційний слід” за собою в мережі. Тому перейдемо до частини, де можливі оцінки та викладки для аналізу, що свідчать про ефективність чи якість роботи. Такою частиною може стати область застосування інструментів машинного навчання. Вагомість анонімізації отриманих даних та синтезу на їх основі може бути суттєвою при зустрічі з проблемою «недо тренування» (underfitting), що згадувалась раніше. Тезисно ця проблема описується як недостатня складність кривої, що формується відповідно поданих значень, таким чином уособлюючи в собі велику віддаленість від необхідних точок-значень, що були задані. Як нижче показано на рисунку 1, крива зображується таким чином, що занадто віддалена від потрібних значень параметрів. Або ще можна описати як наявність великої кількості виключень, що показано на рисунку 2.

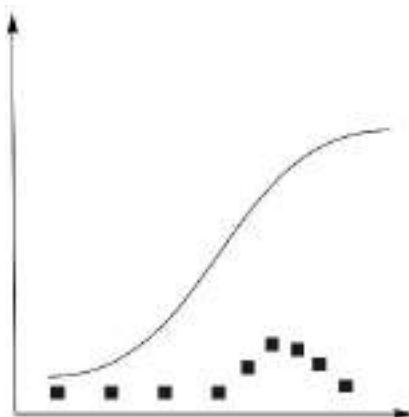


Рис. 1. Проблема недотренування

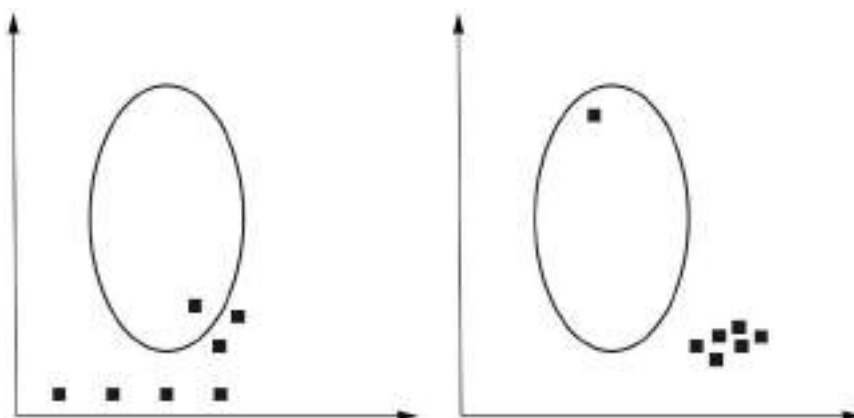


Рис. 2. Проблема великої кількості виключень

Отже, одне з можливих рішень може бути необхідність генерації додаткових даних, на основі яких модель натренується і буде відповідати більш точному графіку, якщо ми говоримо про проблеми регресії, наприклад. Відразу необхідно зазначити, що оскільки проводимо анонімізацію і синтез нових даних, то для точності результатів варто брати показники для передбачення первинних – справжніх отриманих даних, бо хоч і комплекс анонімізації і синтез даних зберігають природу проблеми і їх створення, проте вони все одно залишаються штучними. Перш, ніж заглиблюватися в проблему, треба описати певні деталі процесу. Для кращого розуміння весь алгоритм програми зображений на рисунку 3 нижче. Деякі блоки далі будуть описані детальніше та розширені.

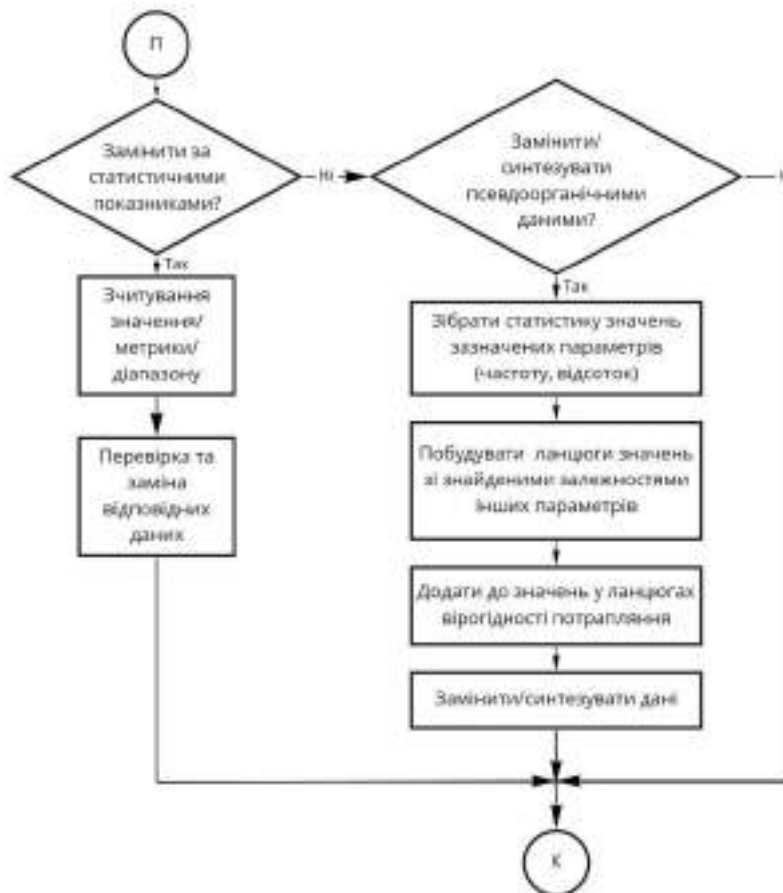


Рис. 3. Схема роботи алгоритму

А, отже, як бачимо, ми можемо замінювати дані статистично – за певними параметрами, заміною певних значень чи опираючись, на статистичні показники. А є й інша можливість – заміна залежно від інших даних. Одне з завдань машинного навчання може бути передбачення ціни на медичне страхування залежно від стану людини. З теорії основ машинного навчання ми знаємо, що співзалежні величини не завжди гарно включати, бо вони посилюють вагомість одне одного і нівелюють показники такої ж логічної вагомості, але не підкріплені схожим показником. Як приклад, не варто вказувати рік народження та кількість років людини одночасно (за умови, що певні роки не були специфічними для народження у виборці), бо ці величини співзалежні – знаючи рік народження, можемо порахувати вік без проблем і навпаки, тобто значення несуть один і той самий зміст, підкріплюючи одне одного. Проте є й закономірні значення, як такі що стан певних органів може бути кращим чи гіршим залежно від способу життя, харчування, наявності поганих звичок чи подібних параметрів. Тож, розуміємо, що дані досить пов'язані і обирати навмання значення ознак серед існуючих не може бути доцільним. Тому дана робота пропонує побудову взаємозв'язків між параметрами у багатовимірній матриці, де зберігається кожне значення параметра і будується ланцюг значень інших параметрів з можливими значеннями при використанні першого параметра. Також фіксується частота зустрічі певних значень при описаних ситуаціях.

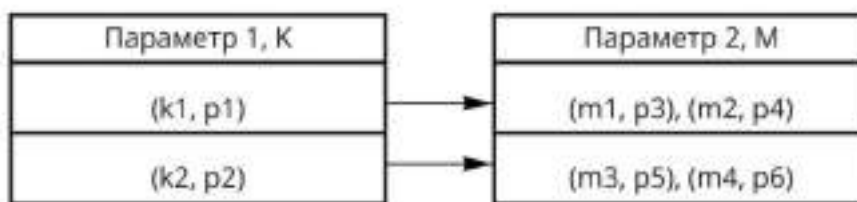


Рис. 4. Зображення взаємозв'язків між параметрами у ланках

Варто зазначити, що весь процес обробки та генерації відбувається з рядками таким чином, що відразу очікується, що дані нормалізовані, піддаються порівнянню, приведені до одного типу в колонках та якість відповідає очікуваним можливим результатам користувача, який працює над задачею. Адже значна частина відповідальності за успіх припадає саме на якість початкових даних. Тож, повернувшись до алгоритму, в результаті побудови матриці матимемо статистичні дані спершу про те, які можливі значення інших параметрів при використанні певного значення обраного параметра. Після побудови матриці вже відбудеться збереження статистичних даних про природу даних, які ми отримали. Тож наразі маємо можливість побудувати нові рядки, підтримуючи їх природність. Враховуючи те, що нам доступна частота входжень та загальна кількість, то можемо отримати вірогідність потрапляння у новий набір.

$$P(A) = \frac{m}{n},$$

де  $n$  – загальна кількість входжень,  $m$  – кількість входжень, які дорівнюють величині, для якої вираховується ймовірність,  $P(A)$  – ймовірність події  $A$ , де  $A$  – входження обраного значення.

Таким чином, побудова нового рядка виглядатиме як визначення ймовірностей і перегляд нових значень шляхом включень та виключень. Застосуємо один з типових підходів, який використовується у задачах машинного навчання, при необхідності визначення нового значення. А саме він полягає у тому, що ймовірність розподіляється на секторі від 0 до 1, а можливі значення займають відповідний простір на секторі у довжину своєї ймовірності.

Псевдовипадковим чином визначається значення від 0 до 1, знаходиться точка на секторі і визначається значення першого параметра. Тобто нехай вираховуємо значення серед  $a$ ,  $b$ ,  $c$ . Ймовірність потрапляння  $a - P(A)$ , припустимо, дорівнює 0.25,  $P(B)$ , припустимо, дорівнює 0.25,  $P(C)$ , припустимо, дорівнює 0.5. Тоді значення на секторі від 0 до 0.25 відповідають  $a$ , від 0.25 до 0.5 –  $b$  і від 0.5 до 1 – відповідають  $c$ . Припустимо, що випадковим чином випало значення 0.75, тоді використовуємо значення  $c$ .

Тепер повертаємось до матриці, знаходимо відповідний рядок з відповідним значенням параметра і переходимо до його можливих значень другого параметра (до ланцюга, який вище був згаданий та описаний). Зберігаємо весь ланцюг, оскільки перший параметр був обраний саме з цього ланцюга. Аналогічним чином визначаємо значення другого параметра серед доступних (ті, що містяться у ланці збереженого рядка) через ймовірність. Тобто в даному випадку, знайшли ланцюг зі значенням параметра  $c$ . Знайшли можливі значення другого параметра. Припустимо, що це  $x$ ,  $y$ ,  $z$  з ймовірностями  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ . Тоді перерахували шанси за вже відомою формулою і умовно зображуємо у довжину ймовірності на секторі і генеруємо псевдовипадкове значення – отримуємо нове значення другого параметра рядка. Записуємо до комірки новостворених даних обране значення параметра, і переходимо до визначення як будуть надалі визначатись дані. А, отже, нове значення другого параметра шукаємо у матриці відповідного стовпчика і забираємо отриманий ланцюг. Отже, тепер вже маємо визначатись з третім параметром. Беремо доступні значення третього параметра з першого та другого ланцюга. Перераховуємо ймовірності відповідно до нового можливого набору і аналогічним чином визначаємо третій параметр. Знову знаходимо ланцюг з третім визначеним параметром, зберігаємо і алгоритм повторюється знову, доки усі параметри не будуть визначені.



Рис. 5. Відображення ланок ланцюга, що впливають на вибір значень

Також при визначенні нових значень варто враховувати чи значення параметра можуть бути обрані з фіксованого набору, як булеве значення – true чи false (0 чи 1), чи як будь-яке значення з діапазону. У другому випадку, варто розглянути варіант визначення мінімального та максимального значень, та при визначенні ймовірності застосувати певну дельту залежно від порядку значень та порашованої частоти.

**Результати.** Тестування проводиться на моделях машинного навчання з розглядом завдань класифікації та регресії.

1. Завдання регресії, RandomForestRegressor, дані без змін.
2. Завдання регресії, RandomForestRegressor, дані зі статичними змінами.
3. Завдання регресії, RandomForestRegressor, дані зі змінами на основі матриці зі збереженням природи даних.

4. Завдання класифікації, RandomForestClassifier, дані без змін.
5. Завдання класифікації, RandomForestClassifier, дані зі статичними змінами.
6. Завдання класифікації, RandomForestClassifier, дані зі змінами на основі матриці зі збереженням природи даних.

На наступних графіках зображено ознаки та правильність передбачення даних відносно їх справжніх значень. Прямі на графіку (рис. 8-10) відображають ідеальну ситуацію – передбачення повністю відповідають справжнім даним, тому чим ближче значення до прямої, тим краще. Графіки демонструють модель без змін, зі статичними змінами і зі змінами на основі матриці відповідно. Завдання полягало у визначенні ціни на медичне страхування.

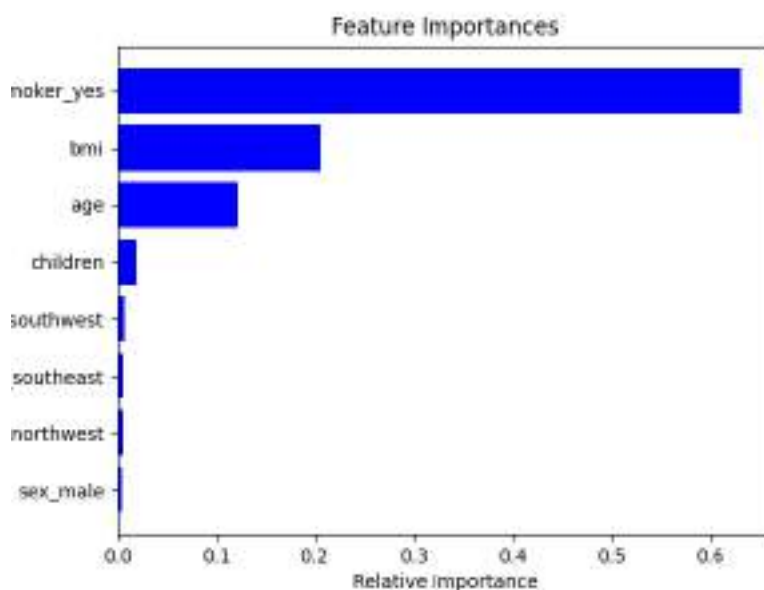


Рис. 6. Графік складових впливу ознак на точність моделі (завдання регресії)

```
Variable: smoker_yes      Importance: 0.63
Variable: bmi             Importance: 0.21
Variable: age             Importance: 0.12
Variable: children        Importance: 0.02
Variable: region_southeast Importance: 0.01
Variable: region_southwest Importance: 0.01
Variable: sex_male        Importance: 0.0
Variable: region_northwest Importance: 0.0
```

Рис. 7. Значення складових впливу ознак на модель (завдання регресії)



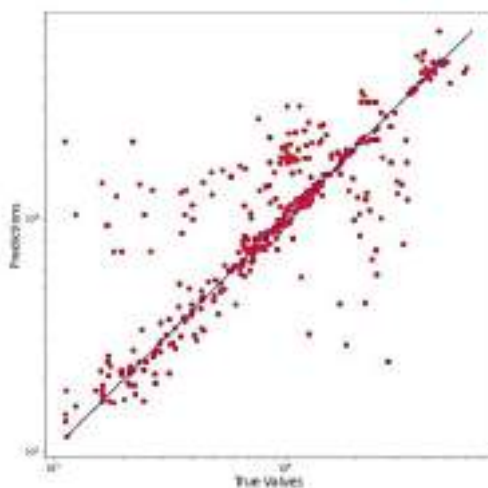


Рис. 8. Передбачення на даних без змін (завдання регресії)

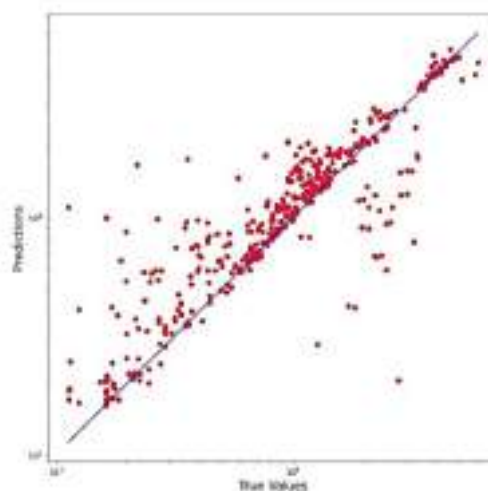


Рис. 9. Передбачення на даних зі статичними змінами (завдання регресії)

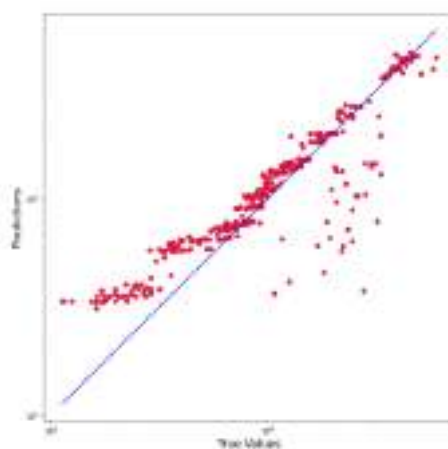


Рис. 10. Передбачення на даних зі змінами на основі матриці (завдання регресії)

Знайдемо показники моделі при різних даних:

Таблиця 1

## Показники моделі (завдання регресії)

Дані	R2 score	Explained variance score	Mean absolute percentage
До змін	0,734668	0,739642	0,439573
Статичні зміни	0,822780	0,824976	0,350458
На основі матриці	0,856572	0,856581	0,301050

Джерело: розробка автора.

Отже, за показниками можемо перекоонатись, що обробка даних призвела до покращеного результату. Переглянемо чи будуть покращення при застосуванні методів, викладених у роботі, зі завданням класифікації. Для аналізу була обрана задача визначення надання кредиту особі. Оскільки, задача класифікації, тому зображено лише ознаки на графіках, а нижче, в таблиці, зафіксовані показники.

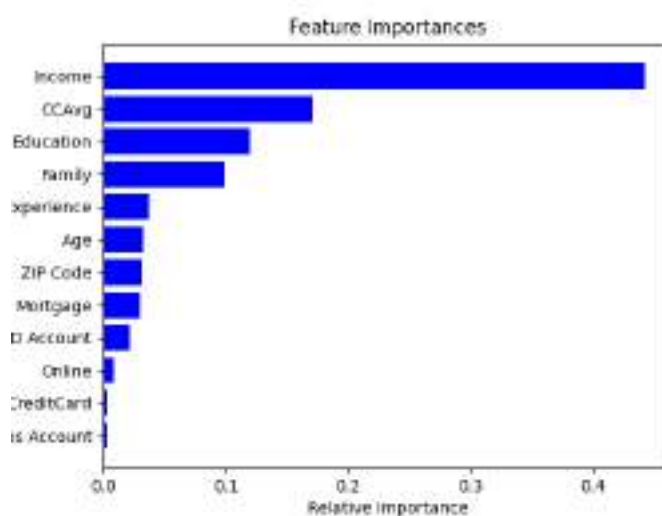


Рис. 11. Графік складових впливу ознак на точність моделі (завдання класифікації)

Variable: Income	Importance: 0.44
Variable: CCAvg	Importance: 0.17
Variable: Education	Importance: 0.12
Variable: Family	Importance: 0.10
Variable: Experience	Importance: 0.04
Variable: Age	Importance: 0.03
Variable: ZIP Code	Importance: 0.03
Variable: Mortgage	Importance: 0.03
Variable: CD Account	Importance: 0.02
Variable: Online	Importance: 0.01
Variable: Securities Account	Importance: 0.01
Variable: CreditCard	Importance: 0.01

Рис. 12. Значення складових впливу ознак на модель (завдання класифікації)

Таблиця 2

## Показники моделі (завдання класифікації)

Дані	Accuracy	Precision	Recall	F1 score	False positive rate
До змін	0,964000	0,933333	0,636364	0,756757	0,363636
Статичні зміни	0,976000	0,970588	0,750000	0,846154	0,250000
На основі матриці	0,984000	0,973684	0,840909	0,902439	0,159091

Джерело: розробка автора.

Завдання класифікації після застосування методів теж зазнало покращень і результати стали більш точні. Показово, що F1-score суттєво покращився – комплексна міра успішності моделі. Важливо орієнтуватися на F1-score у задачах класифікації через відому проблему «визначення терориста» [8], у якій може бути окремо високе значення precision або recall, проте програма буде неефективною. Тоді з'являється показник F1-score – міра успіху моделі (враховує і precision, і recall). Дані результати свідчать про врахування такої особливості, бо показники покращились.

**Висновок.** У викладеному матеріалі була висвітлена проблема використання даних та освітлені можливі шляхи їх анонізації у разі потреби. Були зазначені можливі проблеми недбалого користування та способи уникнення таких варіантів. Розглянуто, що проблема притаманна різним галузям, тому і методи розв'язку можуть бути різними. Описано як статичні заміни, так і заміни на основі органічної природи даних. Варто пам'ятати, що відповідальність за якість даних лежить на користувачеві. Більш детально було висвітлено необхідність подібних утиліт у машинному навчанні та за його допомогою була виконана перевірка результатів. Не в останню чергу якість і необхідність залежить від потреб задачі та самої моделі, проте були взяті класичні проблеми машинного навчання і визначені показники.

Було з'ясовано, що результати, як завдання регресії, так і завдання класифікації, були покращені. Покращення сягають 20 % і особливості правильної оцінки – застосування F1-score – було враховано.

У замірах усі результати ставали кращими, проте з іншими моделями можуть відрізнятися. У задачах машинного навчання необхідний комплексний підхід до розв'язання, тому дана розробка теж не є виключенням і нею варто користуватися з розумом, аналізуючи та вдосконалюючи дані, моделі, результати.

### Список використаних джерел

1. Big & Personal: data and models behind Netflix recommendations [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://xamat.github.io/pubs/BigAndPersonal.pdf>.
2. Aurelien Geron. (2019). “Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems”, 2nd Edition (p.57)
3. General Data Protection Regulation [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Data\\_Protection\\_Regulation](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Data_Protection_Regulation).
4. If an app asks to track your activity [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://support.apple.com/en-us/HT212025>.
5. Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben-David. (2014). “Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cs.huji.ac.il/~shais/UnderstandingMachineLearning/understanding-machine-learning-theory-algorithms.pdf>.
6. Andrew Ng. “Machine Learning by Stanford University”, Coursera [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.coursera.org/learn/machine-learning>.
7. Deep Learning – An MIT Press Book [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.deeplearningbook.org>.
8. Beyond Accuracy: Precision and Recall [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://towardsdatascience.com/beyond-accuracy-precision-and-recall-3da06bea9f6c>.

### References

1. Big & Personal: data and models behind Netflix recommendations. URL: <https://xamat.github.io/pubs/BigAndPersonal.pdf>
2. Aurelien Geron. (2019). “Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow: Concepts, Tools, and Techniques to Build Intelligent Systems”, 2nd Edition (p. 57).
3. GDPR. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Data\\_Protection\\_Regulation](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Data_Protection_Regulation).
4. If an app asks to track your activity. URL: <https://support.apple.com/en-us/HT212025>.

5. Shai Shalev-Shwartz and Shai Ben-David. (2014). "Understanding Machine Learning: From Theory to Algorithms". URL: <https://www.cs.huji.ac.il/~shais/UnderstandingMachineLearning/understanding-machine-learning-theory-algorithms.pdf>.
6. Andrew Ng. "Machine Learning by Stanford University", Coursera. URL: <https://www.coursera.org/learn/machine-learning>.
7. Deep Learning – An MIT Press Book. URL: <https://www.deeplearningbook.org>.
8. Beyond Accuracy: Precision and Recall. URL: <https://towardsdatascience.com/beyond-accuracy-precision-and-recall-3da06bea9f6c>.

Отримано 10.08.2021

UDC 004.65

**Vlada Lipska**

Student

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (Kyiv, Ukraine)

E-mail: [vladkalipskaya@gmail.com](mailto:vladkalipskaya@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9847-7637>

### THE METHOD FOR INCREASING THE EFFICIENCY OF DATABASE DEPERSONIFICATION

*The topic is relevant due to the need to protect personal data during its storage or use in different systems, so the demand for anonymization of data is growing every day.*

*The need for depersonalization is often mentioned, which is confirmed by the large number of competitors and the results of the materials. The materials offer static replacement, relational format replacement, data curve reproduction and replacement based on it.*

*The topic now needs to be deepened and it is proposed to consider depersonalization by various methods, one of which is by preserving the nature of data and use synthesis as a method of improving the results of the issue.*

*The aim is to develop a method of depersonalization and data synthesis for use without distortion. To achieve this goal, a set of experiments was conducted, which involve the calculation of analytical metrics, which are used to assess the feasibility and quality of the work done.*

*The principles of depersonalization methods are described, the emphasis is on anonymization with preservation of data nature. At the end, the analysis is performed and the results are presented.*

*The presented material highlighted the problem of data use and highlighted possible ways to anonymize them if necessary. It was found that the results of both the regression problem and the classification problem were improved. Improvements could reach 20 %.*

**Keywords:** depersonalization; anonymization; data.

*Fig.: 12. Tab.: 2. References: 8.*

**Marek Sukop<sup>1</sup>, Maksym Grytsiv<sup>2</sup>, Karol Krabáč<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Systems and Robotics  
Košice Technical University (Košice, Slovakia)

E-mail: [marek.sukop@tuke.sk](mailto:marek.sukop@tuke.sk). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7987-3557>

<sup>2</sup>PhD student, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production systems and Robotics  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)

E-mail: [maksym.grytsiv@tuke.sk](mailto:maksym.grytsiv@tuke.sk). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9412-085X>

<sup>3</sup>Ing. student, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production systems and Robotics  
Technical University of Kosice (Kosice, Slovakia)

E-mail: [karol.kabac@student.tuke.sk](mailto:karol.kabac@student.tuke.sk)

**SIMPLE SPEED MEASUREMENT IN SPORT BASED ON ULTRASOUND**

The intention of our solution mentioned in the article was to create a simple device capable of measuring speed of a moving object. For various sports, such equipment is necessary during athletes' performance testing to determine progress. The designed device based on the ultrasonic sensor HC-SR04 in conjunction with Arduino is simple and inexpensive. The most important task in the implementation was to solve the synchronization between the measuring modules [1]. The nRF24L01 communication modules were used to synchronize the modules.

**Keywords:** sport; ultrasound; ultrasonic sensor; speed measurement.

**Fig.:** 9. **References:** 4.

**Urgency of the research.** In the training process of amateur and professional sports, an analysis of increasing performance is needed. This can be done by objectively measuring some of an athlete's abilities (needed for sport). One of the important abilities is the maximum running speed of an athlete. This ability is also needed in most team sports.

**Target setting and Actual scientific researchers and issues analysis.** As part of our solution, we first proposed a speed measurement method using the radar method. In this solution, only one ultrasonic sensor would be used, the position of which would be as parallel as possible to the direction of movement of the measured object [1]. The movement of measured object would be towards the sensor. To determine the speed, we would evaluate at least two distances of the object from the radar. Here, however, there was a problem with sensing the distance of a dressed person, where the signal was too attenuated. This signal could not be processed. Therefore, we decided to implement the method of two points through which the measured object must pass.

**The statement of basic materials.** The measurement method is based on the principle of measuring speed in a section given by two points. The velocity is calculated as a derivative of the length of the section over time.

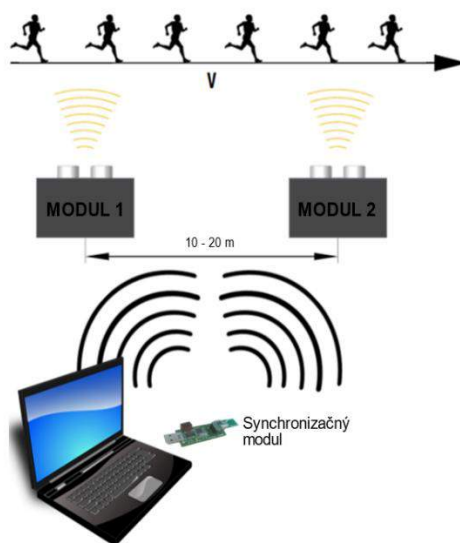


Fig. 1. Measurement method used

Fig. 1 shows the principle of the method used to measure the speed between two points. An important condition in this measurement is the synchronization of the modules, which must be in microseconds for the measured results to be relevant. Therefore, a synchronization module (SM) is used, which communicates via nRF24L01 with measuring modules (MM1 and MM2). As an SM (Fig. 3), we have developed a module that contains an ATmega168 microcontroller. The controller communicates via RS232 with the computer and is also responsible for synchronizing the modules with which it communicates via the mentioned nRF24L01 [4].

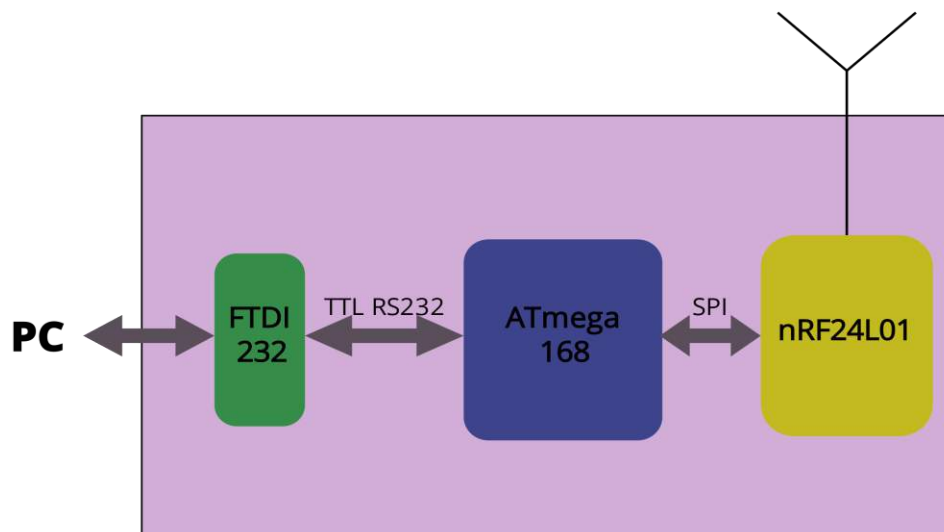


Fig. 2. Synchronization module scheme

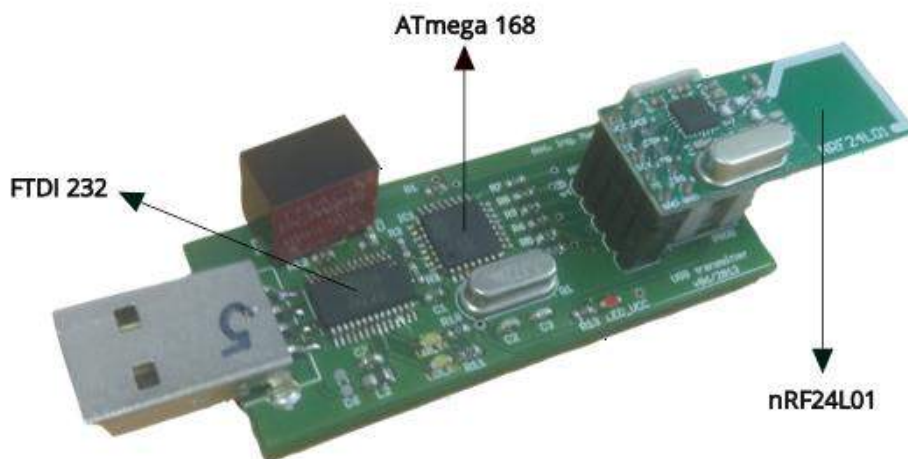


Fig. 3. Synchronization module

**Design of measurement modules.** The implementation of our speed measurement design took place in several phases. In the first phase, models of modules 1 and 2 were designed and drawn (Fig. 4), in which the individual components are placed. Subsequently, everything was installed in modules and interconnected. In the next phase, algorithms for controlling the entire measurement were designed and implemented.

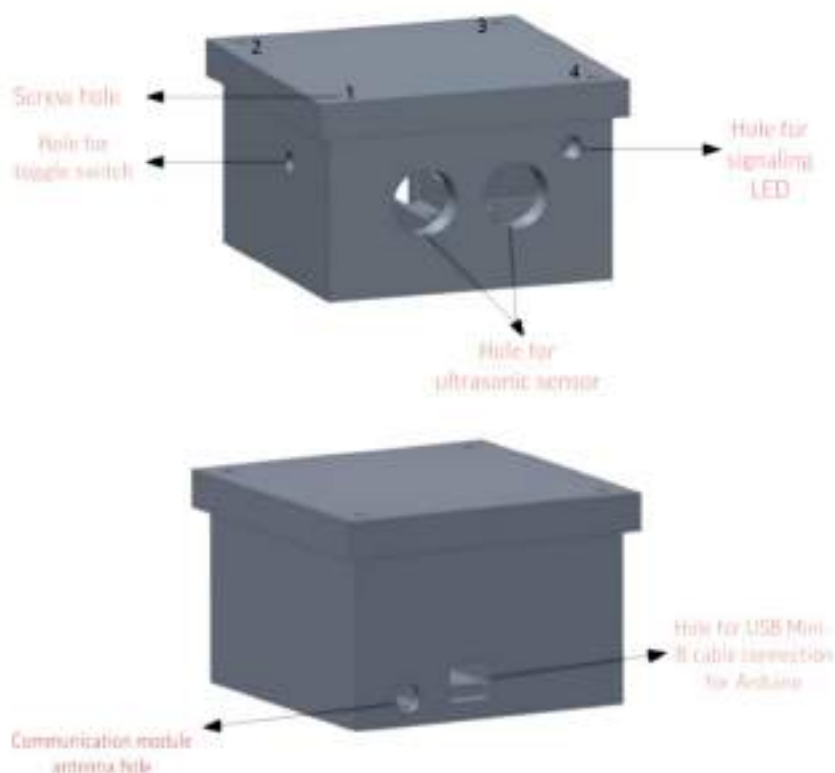


Fig. 4. Design of measuring modules box

Arduino NANO was used as a managing member of MM [2]. The 9V battery was chosen as the power supply component, which is suitable both in terms of capacity and dimensions for this purpose. Furthermore, a control LED was incorporated into the design to monitor the status of the modules. The nRF module is connected to the Arduino via the SPI communication interface and the ultrasonic module HC-SR04 is connected via two IO pins [3]. The wiring diagram is shown in Fig.5.

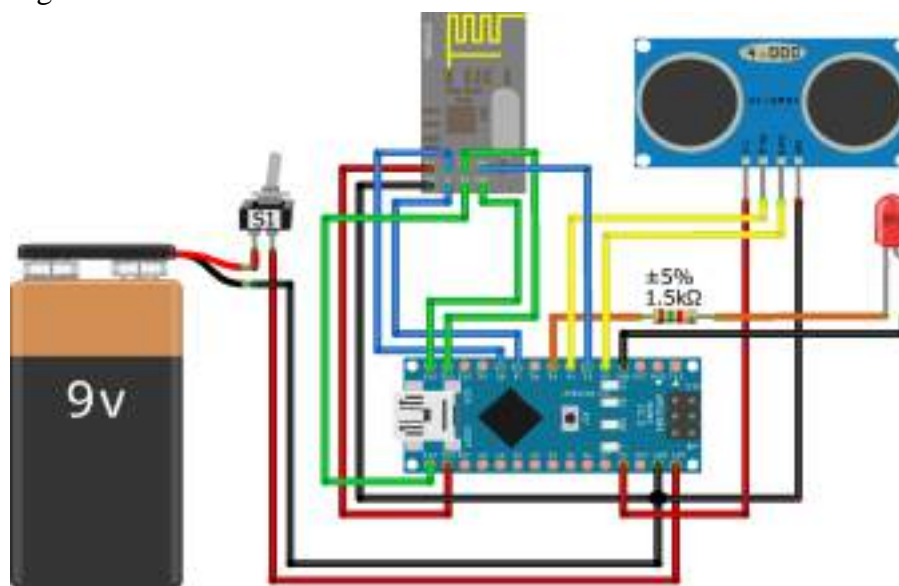


Fig. 5. Wiring diagram of measuring modules

**Proposed measurement algorithms.** The design of algorithms had to be based on the principle of operation of the entire measurement system. The time characteristic of the implemented system (Fig. 6) clearly shows the principle of operation, which is as follows:

- SM sends START byte to MM1 and MM2
- Both MMs start the measurement after receiving this apartment
- MM1 sends Tag byte after 15ms from the beginning of the measurement
- MM2 sends Tag byte after 20ms from the beginning of the measurement

The described schedule of activities is repeated every 33.3ms, which ensures 30 measurements every second.

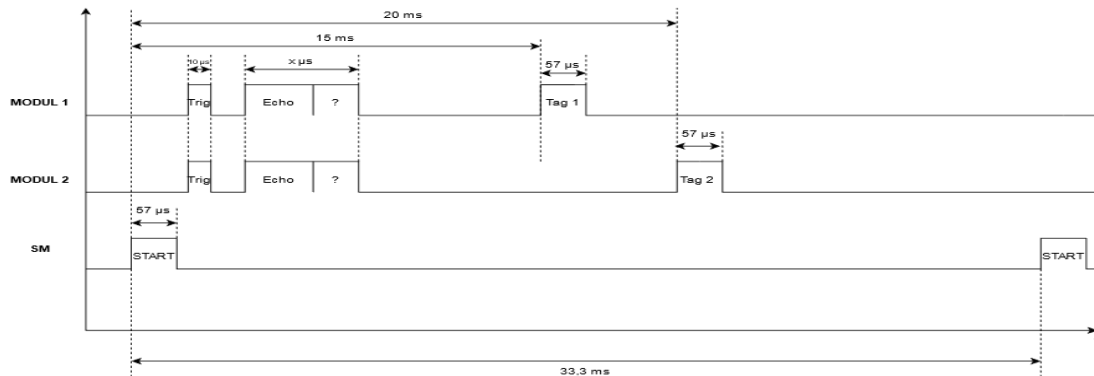


Fig. 6. Time characteristic

Based on this schedule, algorithms were designed for SM (Fig. 7) as well as MM1 and MM2 (Fig. 8).

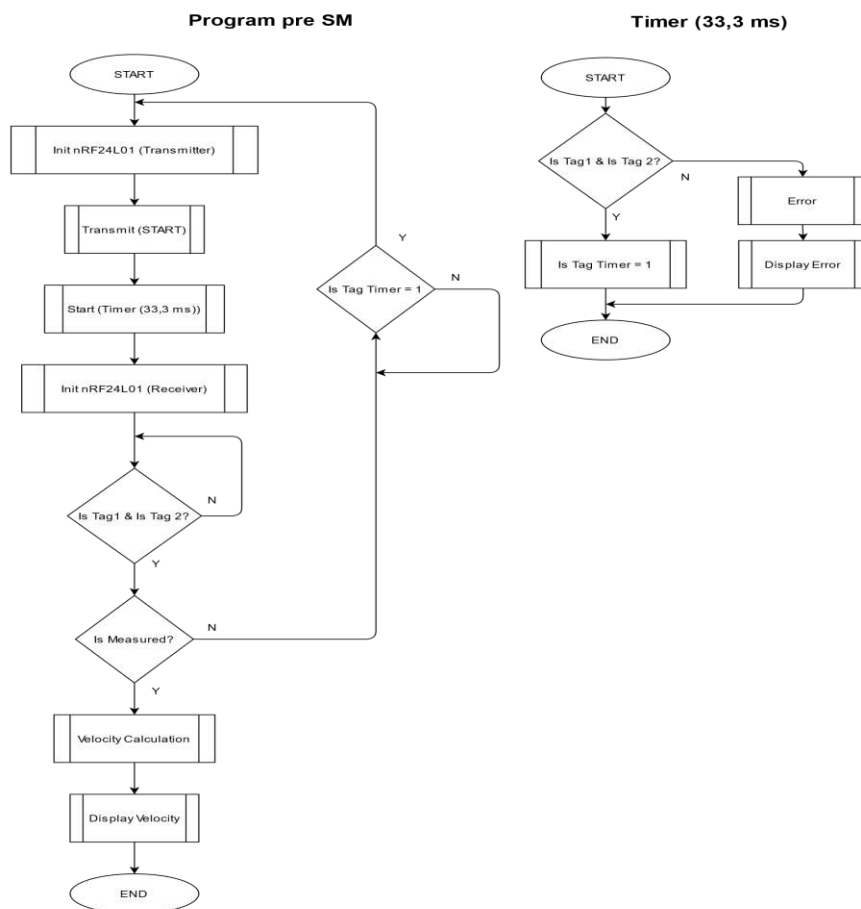


Fig. 7. Algorithm for SM



The algorithm starts by setting the nRF in the SM to the transmission mode (*Init\_nRF24L01 (Transmitter)*) and the subsequent macro *Transmit (START)*. The task of this macro is to send a command that initiates the start of the measurement in MM1 and MM2. After this, the *Timer (33.3 ms)* is started, which counts the time in the background and starts the subroutine by 33.3 ms. The goal is to ensure that the measurement is repeated every 33.3 ms (30 times per second). Immediately after starting the *Timer (33.3 ms)*, the nRF in the SM switches to the receive mode (*Init\_nRF24L01 (Receiver)*) so that it can receive data from the MM1 and MM2 modules. Next, it is checked (condition *Is Tag 1 & Is Tag 2?*), Whether both ultrasonic sensors measure and send the current measured values (presence of the object in the vicinity of 2m) to the SM. The value of the tags determines whether the object (human) was close to M1 or M2 (*Tag = 1* - human was nearby; *Tag = 0* - human was not nearby). Condition *Is Tag 1 & Is Tag 2?* (more precisely *Is Tag 1 (t) = (true or false) & Tag 2 (t) = (true or false)*) ensures the continuation of the program regardless of whether the tags are equal to *true* or *false*. If it was not met (either only one would come or no tag would come), it would mean that no data is coming from the MM. At the same time, the feedback treated condition is that the Tags have not yet been measured and are therefore waiting for them to arrive. Next condition *Is Measured?* represents a state where *Tag 2 = true* and *Tag 1* have been *true* some-time in the past (exact notation *Is Tag2 (t) = true & Tag 1 (t-n) = true*). This condition is used to verify whether the measured person passed before MM1 (*Tag 1*) and at the same time with a certain time delay before MM2 (*Tag 2*). Only then is the speed measurement successful and can be continued. If the measurement is not successful, the feedback continues to the *Is Tag Timer = True* condition, which is the *Timer (33.3 ms)* count started in the background to 33.3 ms. If the *Timer (33.3 ms)* counts to this time, it continues back to the beginning of the program and the whole cycle is executed again. This feedback ensures that the measurements are repeated by both modules every 33.3 ms, ie 30 times per second. If the condition is *Is Measured?* fulfilled, the *Velocity Calculation* macro is continued, which is a macro for calculating the speed of the measured person:

$$v [km/h] = \frac{dm [m]}{\Delta T [ms] \times 10^{-3}} \times 3,6 \tag{1}$$

$$\Delta T [ms] = t2 - t1 \tag{2}$$

$$dm = 10 m \tag{3}$$

$$v [km/h] = \frac{10 [m]}{\Delta T [ms] \times 10^{-3}} \times 3,6 \tag{4}$$

where:

$d_m$  is the distance between measuring points (sensors) see. *Fig.* It can be any in the range from 10 to 20 m.

$t1$  is the time at which MM1 recorded a change in the measured distance (person).

$t2$  is the time at which MM2 recorded a change in the measured distance (person).

The last macro of the main program *Display Velocity* will list the final speed of the measured person in km/h, or we can add a conversion to m/s ( $v [m/s] = v [km/h] / 3,6$ ).

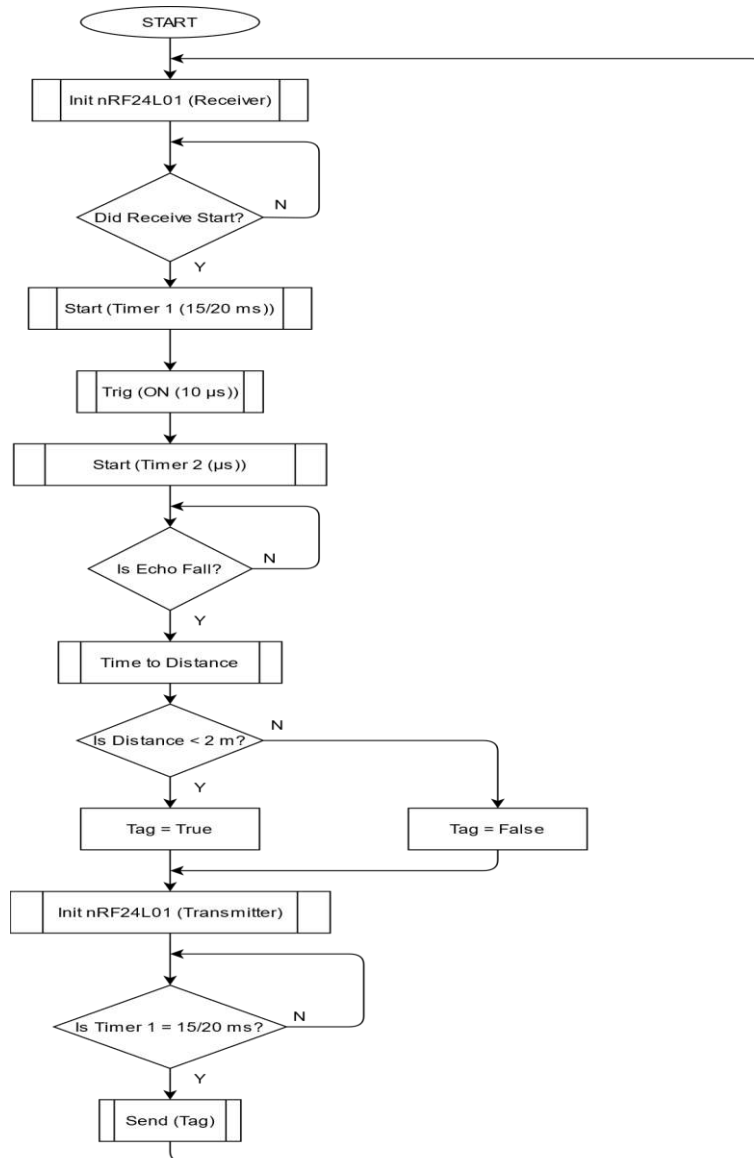


Fig. 8. Algorithm for MM

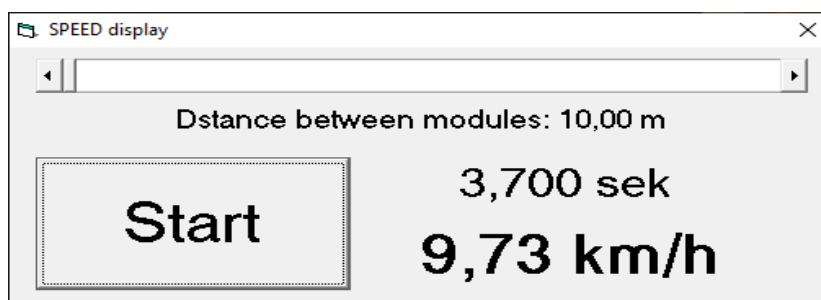


Fig. 9. View the results on computer

**Conclusion.** We place both modules at a distance of 10 - 20 m from each other in places between which the athlete's movement speed is measured. The modules are positioned so that the measured person runs first next to M1 and then next to M2. If a person ran in the opposite direction or if we swapped the individual modules, the speed measurement would not be successful. It is therefore important to know which module is which and based on that to place them correctly.

The aim was to design and implement speed measurement for sports activities. The described measuring system is perfectly usable in testing the results of training activities. It is possible to use well-targeted testing and training to determine the progress of individuals in speed, or in achieving maximum speed in a short section. Thanks to modules with independent power supply and RF communication, the device is easy to use within a few tens of seconds.

**Acknowledgment.** This article was created thanks to the support of the KEGA project: 010TUKE-4/2020 Implementation of new knowledge and innovative approaches to the process of teaching robotics in the intentions of Industry 4.

### References

1. Krabáč, K. Zariadenie merania rýchlosti na báze mikrokontroléra a ultrazvukového senzoru pre podporu športového tréningu. Diplomová práca, 2021, Strojnícka fakulta TUKE.
2. Arduino. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/>.
3. Getting Started with the HC-SR04 ultrasonic sensor. Dostupné z: <https://create.arduino.cc/projecthub/Isaac100/getting-started-with-the-hc-sr04-ultrasonic-sensor-036380>.
4. Arduino Radio Communication (nRF24L01). Dostupné z: [https://create.arduino.cc/projecthub/eEdizon/arduino-radio-communication-nrf24l01-0fec7a?ref=search&ref\\_id=nRF24L01&offset=5](https://create.arduino.cc/projecthub/eEdizon/arduino-radio-communication-nrf24l01-0fec7a?ref=search&ref_id=nRF24L01&offset=5).

Отримано 05.08.2021

UDC 621.941-229.3:621.822.172

*Мареk Сукон<sup>1</sup>, Максим Грицив<sup>2</sup>, Карол Кабач<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>професор, факультет машинобудування, кафедра виробничих систем та робототехніки  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [marek.sukop@tuke.sk](mailto:marek.sukop@tuke.sk). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7987-3557>

<sup>2</sup>аспірант, факультет машинобудування, кафедра виробничих систем та робототехніки  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [maksym.grytsiv@tuke.sk](mailto:maksym.grytsiv@tuke.sk). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9412-085X>

<sup>3</sup>Інж. студент, факультет машинобудування, кафедра виробничих систем та робототехніки  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [karol.kabac@student.tuke.sk](mailto:karol.kabac@student.tuke.sk)

## ПРОСТЕ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ В СПОРТУ НА ОСНОВІ УЛЬТРАЗВУКУ

*У процесі тренування аматорського та професійного спорту необхідний аналіз підвищення результативності. Це можна зробити шляхом об'єктивного вимірювання деяких здібностей спортсмена (необхідних для спорту). Однією з важливих здібностей є максимальна швидкість бігу спортсмена. Ця здатність також потрібна в більшості командних видів спорту.*

*Початковий намір розробки вимірювального пристрою полягав у досягненні радіолокаційного вимірювання швидкості рухомих об'єктів у спорті.*

*На основі первинних випробувань класичних ультразвукових модулів HC-SR04 ми вирішили використати класичний принцип вимірювання швидкості об'єкта між двома модулями. У цьому рішенні швидкість переміщення об'єкта між модулями оцінюється як середня швидкість, досягнута між цими модулями.*

*Наразі це вимірювання є обмеженим і випробовується лише для вимірювання швидкості бігу спортсменів.*

*Ми розміщуємо обидва модуля на відстані 10 - 20 м один від одного в місцях, між якими вимірюється швидкість руху спортсмена. Модулі розташовані так, що вимірювана людина бігає спочатку біля M1, а потім поруч із M2. Якби людина бігла в протилежному напрямку або якщо ми поміняли місцями окремі модулі, вимірювання швидкості не було б успішним. Тому важливо знати, який це модуль, і на основі цього правильно їх розмістити.*

*Метою було розробити та впровадити вимірювання швидкості для спортивних занять.*

*Описана вимірювальна система чудово підходить для перевірки результатів навчальної діяльності. Можна використовувати цілеспрямоване тестування та навчання, щоб визначити прогрес людей у швидкості або досягнення максимальної швидкості в короткому розділі. Завдяки модулям з незалежним джерелом живлення та радіочастотному зв'язку, пристрій простий у використанні протягом кількох десятків секунд.*

**Ключові слова:** спорт; ультразвук; ультразвуковий датчик; вимірювання швидкості.

## РОЗДІЛ III. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-220-228

УДК 628.16:004

**Жанна Замай<sup>1</sup>, Світлана Боровик<sup>2</sup>, Ігор Костенко<sup>3</sup>,  
Геннадій Пасов<sup>4</sup>, Наталія Буяльська<sup>5</sup>, Сергій Цибуля<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [zamaizhanna@gmail.com](mailto:zamaizhanna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-4677>

<sup>2</sup>заступник директора ТОВ «Нептун» (м. Мена, Україна).

E-mail: [neptun\\_ltd@ukr.net](mailto:neptun_ltd@ukr.net)

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [atdrj@ukr.net](mailto:atdrj@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1195-5163>

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [Buialska@gmail.com](mailto:Buialska@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

<sup>6</sup>доктор технічних наук, професор кафедри харчових технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

E-mail: [stcibula@gmail.com](mailto:stcibula@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

### ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ВОДОПІДГОТОВЦІ ТА МОЖЛИВОСТІ ЇЇ АВТОМАТИЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ВИРОБНИЦТВА ПИТНОЇ ВОДИ «СІВЕРСЬКА»

У роботі вирішено проблему розрахунку іонного складу води після змішування на ТОВ «Нептун» (сmt Мена Чернігівської області). Для додаткової мінералізації очищеної води після другого ступеня системи очистки компанії ECOSOFT (зворотній осмос) пропонується змішування її з водою після першого ступеня очищення (іонообмінний). Для оперативного визначення концентрацій кожного іону в результуючій воді використовується електронний табличка Microsoft Office Excel. Для точного дозування води відповідно до обраного коефіцієнта змішування рекомендується цифровий датчик рівня води ECMS. Автоматизація дасть можливість виробляти продукцію різного складу залежно від замовлень споживачів.

**Ключові слова:** водопідготовка; показники і нормативи якості питної води; зворотний осмос; програма Excel; автоматизація.

Рис.: 4. Табл.: 3. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** Однією з важливих невирішених соціальних проблем у світі є проблема низької якості питної води та її дефіциту. У серпні 2019 р. Інститут світових ресурсів (WRI) оприлюднив дослідження, що близько чверті населення світу стикається з нестачею питної води. Експерти прогнозують, що у 2030 році від нестачі прісної води страждатиме 47 %, а до 2050 –  $\frac{2}{3}$  населення планети. За твердженнями ВООЗ, більш як 80 % захворювань пов'язані з якістю води, яку споживає людина.

Україна, незважаючи на велику кількість водних об'єктів (63 тис. річок, 40 тис. озер, 1100 водосховищ, 400 тис. ставків – 1 млн 100 тис. га прісних водойм), за останніми проведеними дослідженнями на замовлення Світового фінансового банку посідає за кількістю питної води на душу населення 125-е місце з 180 країн – на кожного мешканця припадає приблизно 1–1,2 тис. м<sup>3</sup> води, придатної для споживання. У Швеції цей показник в 20 разів більший [1–3].

Якість води стоїть на першому місці для забезпечення здорового харчування. Особливе значення для здоров'я людини мають хімічний склад та ступінь мінералізації питної води [4].

Виробництво питної води вимагає суворого контролю на всіх етапах. Підвищення ефективності виробничого процесу, мінімізація ризиків виникнення помилок, причиною яких виступає людський фактор, багато в чому пов'язано з широким застосуванням сучасних інформаційних технологій на промислових підприємствах.

**Постановка проблеми.** Через недостатню якість питної води з водогонів населених пунктів України певну частину у споживанні води відіграють бутильовані столові та лікувально-столові мінеральні води. Взагалі, Україна посідає 4-е місце в Європі за обсягом розвіданих водних запасів – 2,4 млн/м<sup>3</sup>, а також входить до групи світових лідерів за запасами мінеральної води, її ресурси значно перевищують внутрішні потреби [5].

У Чернігівській області безперечним лідером із виготовлення мінеральних вод є ТОВ «Нептун», яке знаходиться у місті Мена Чернігівської області – екологічно чистому регіоні України. Продукцією є вода мінеральна газувана «Остреченська», вода солодка газувана (з різноманітними наповнювачами) та вода питна негазована «Сіверська». Ця вода відноситься до Дніпровського артезіанського басейну і є йодною, бромною та йодо-бромною мінеральною водою [6].

Однак очищення води на ТОВ «Нептун» за допомогою зворотного осмосу призводить до її демінералізації, що підвищує ризик розвитку захворювань, зумовлених дефіцитом мікро- та макроелементів [2–4]. Необхідним є пошук шляхів відновлення мінерального складу артезіанської води.

У системі зворотного осмосу може бути встановлений мінералізатор, який містить суміш природних мінералів, наприклад, кальцит. Однак насичення очищеної води корисними речовинами потребує часу та не завжди є економічно вигідним.

Тому одним зі шляхів вирішення проблеми демінералізації води та збільшення економічної ефективності водопідготовки є змішування води різного складу, для чого потрібен розрахунок концентрації кожного іону в одержаній воді.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Змішування води, що пройшла очищення методом зворотного осмосу, з водою, що пройшла механічне фільтрування, у співвідношенні близькому до 1:1, унаслідок чого значення загальної жорсткості, сухого залишку та Na<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> доводяться до гігієнічних нормативів, застосовується на багатьох підприємствах, наприклад бюветних комплексах м. Одеси [7–9].

Для оперативного прогнозування концентрацій кожного іону при різних співвідношеннях води різного ступеня очищення доцільно використання ряду програм математичної обробки даних.

Автори [10] пропонують формування «Аналітичного листа», який містить інформацію про етапи вхідного контролю на виробництві. Документ заповнюється результатами показників, отриманими у ході контролю по кожному з видів аналізу та перевіряється начальником лабораторії.

Широко застосовується пакет STATISTICA. Statistica (StatSoft, Inc.), який має широкий спектр функціональних алгоритмів і розвинену графіку, а також відповідні засоби для редагування графічних матеріалів. MathCAD (Parametric Technology Corp.) – це потужний пакет для математичних розрахунків, розв'язання рівнянь, побудови графіків тощо. MATLAB (MathWorks, Inc.) – комп'ютерна оболонка для інтерактивних та командних обчислень і візуалізації. До більш спеціалізованих програмних пакетів відносяться: OriginPro (OriginLab Corp.). Це потужний пакет для аналізу результатів статистичних і наукових досліджень та вимірювань, надає засоби програмування та побудови графіків, діаграм, таблиць. За допомогою Origin можна проводити чисельний аналіз даних, включаючи різні статистичні операції, обробку сигналів тощо [11–13].

Початковим рівнем пакетів програм для статистичної обробки даних експериментів можуть бути, наприклад, MS Excel (Microsoft Corp.). Це найбільш поширений додаток з пакету офісних програм MS Office. MS Excel добре підходить для накопичення даних,

проміжного перетворення, попередніх статистичних обчислень, для побудови деяких видів діаграм. Макроси-доповнення для MS Excel, що включають додаткові статистичні функції, які в основних випадках є достатніми для звичайного застосування. засоби (Power Pivot, Power View), а також можна використовувати MS Access [14].

Раціональним є застосування автоматизованих систем водопідготовки. Зокрема, такий проєкт реалізовано спільно з компанією «ЛВТ Інжиніринг» на підприємстві з переробки помідорів фірми «Інагро», розташованого в м. Снігурівка, Миколаївської області [15].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Раніше згадані програмні продукти можна тільки частково використовувати для вирішення тих або інших питань виробничого циклу. На сьогодні в Україні немає спеціально розроблених пакетів програм, які безпосередньо можна використовувати в системах водопідготовки для підприємств з випуску мінеральних та питних вод. Тому автори намагаються вирішити цю проблему найпростішими існуючими програмними інструментами, доступними для використання широкому колу користувачів. При цьому підприємству не потрібно витратити значні додаткові кошти на впровадження таких інновацій при залученні сторонніх фахівців (розробка програмного продукту, його впровадження, супровід тощо).

**Мета статті.** Метою цього дослідження є аналіз можливості використання інформаційних технологій та подальшої автоматизації цього процесу для отримання питної води із заданим хімічним складом.

**Виклад основного матеріалу.** На території підприємства ТОВ «Нептун» знаходиться свердловина глибиною 830 м з мінеральною лікувально-столовою гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвою водою. Цю воду підприємство фасує в пляшки, розливаючи її на місці видобутку, зберігаючи максимальний лікувальний ефект води.

Для виробництва води питної негазованої очищеної «Сіверська» підприємство використовує воду з артезіанської свердловини. Видобування води з артезіанської свердловини № 1 глибиною 94 м здійснюють за допомогою ерліфта, який складається з водопідйомних та повітряних труб. Діаметр водопідйомних труб 219 мм. Діаметр повітряних труб 73 мм, глибина їх загрузки 40 м. Тип насосу ЕЦВ, глибина заглиблення 36 м. В свердловині встановлено фільтр сітчастий діаметром 127 мм в інтервалі 78-90 м, загальна довжина робочої частини фільтра 12 м. Надфільтрові труби довжиною 25 м і діаметром 127 мм встановлено в інтервалі від 53 до 78 м. Відстійник завдовжки 4 м діаметром 127 мм встановлено від глибини 90 м до глибини 94 м. Робоча частина фільтра знаходиться в інтервалі 78–90 м. На свердловині використовують компресор марки ПК155 з глибиною загрузки 40 метрів водопідйомністю труб 219 дюйм/мм.

Хімічний склад води, що видобувається зі свердловини наведено у табл. 1.

Таблиця 1

*Фізико-хімічні показники якості води зі свердловини від 10 березня 2021 року*

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Фактичне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Методика виконання досліджень
1	2	3	4	5
Водневий показник, рН	один. рН	7,06	6,5...8,5	ДСТУ 4077-2001
Вміст заліза загального, Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	3,65	<0,2	ГОСТ 4011-72
Вміст Мангану, Mn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,38	<0,05	ГОСТ 4974-72
Загальна твердість	ммоль/дм <sup>3</sup>	6,36	<7,0	ДСТУ ISO 6095:2003
Вміст Кальцію, Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	80,52	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Магнію, Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	19,46	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Натрію та Калію, Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	46,05	не нормується	
Лужність	ммоль/дм <sup>3</sup>	7,3	не нормується	ГОСТ 23268.3-78

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5
Вміст гідроген карбонатів, $\text{HCO}_3^-$	мг/дм <sup>3</sup>	445,4	не нормується	
Вміст нітритів, $\text{NO}_2^-$	мг/дм <sup>3</sup>	<0,003	<0,5	ГОСТ 4192-89
Вміст нітратів, $\text{NO}_3^-$	мг/дм <sup>3</sup>	<0,001	<50,0	ДСТУ 4078-2001
Вміст хлоридів, $\text{Cl}^-$	мг/дм <sup>3</sup>	19,25	<250,0	ДСТУ ISO 9297:2007
Вміст сульфатів, $\text{SO}_4^{2-}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,06	<250,0	ГОСТ 4389-72
Вміст поліфосфатів, $\text{PO}_4^{3-}$	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	<3,5	МВИ 081/37-0733-10
Вміст фторидів, $\text{F}^-$	мг/дм <sup>3</sup>	1,03	0,7...1,2	ГОСТ 4386-89
Вміст цинку, $\text{Zn}^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,084	<1,0	МВВ 081/0173-05
Вміст алюмінію, $\text{Al}^{3+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,2	<0,2	МВИ 081/37-0735-11
Вміст Молибдену, $\text{MoO}_4^{2-}$	мг/дм <sup>3</sup>	<0,0025	<0,07	ГОСТ 18308-72
Вміст амонію, $\text{NH}_4^+$	мг/дм <sup>3</sup>	0,58	<0,5	ГОСТ 4192-82
Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	430	<1000	ГОСТ 18164-72

Хімічний склад води з цієї свердловини не відповідає встановленим нормативам, тому на підприємстві ТОВ «Нептун» застосовують ефективну систему очищення компанії ECOSOFT: реагентна система FK зі спеціальним сорбентом ЕКОМІКС для комплексного видалення солей твердості, іонів Феруму, Мангану, амонію та органічних домішок. Метод пом'якшення – іонообмінний – фільтрація води крізь шар катіоніту (іонообмінної смоли DOWEX виробництва компанії DOW CHEMICAL). ЕКОМІКС – це суміш п'яти іонообмінних та сорбційних матеріалів природного та синтетичного походження, що відрізняються за механізмом дії, питомою вагою та гранулометричним складом.

У процесі проходження води через фільтруючий шар його здатність до очищення поступово знижується, тому хімічний склад очищеної води змінюється і потребує постійного визначення, а співвідношення види при змішуванні – корекції. Крім того, у випадку подовженого простою системи для запобігання мікробіологічному заростанню системи проводять консервацію фільтруючого матеріалу регенеруючим розчином.

Результати аналізу води після першого ступеня очищення (визначено лише ті показники, які є ключовими в цьому дослідженні) та води питної очищеної негазованої «Сіверська» (одержаної після двоступеневої очистки) представлено у табл. 2 та 3.

Таблиця 2

## Фізико-хімічні показники якості води після першого ступеня очистки

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Фактичне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Методика виконання досліджень
Водневий показник, рН	один. рН	7,18	6,5...8,5	ДСТУ 4077-2001
Вміст заліза загального, $\text{Fe}^{2+}$ , $\text{Fe}^{3+}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,06	<0,2	ГОСТ 4011-72
Вміст Мангану, $\text{Mn}^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	<0,001	<0,05	ГОСТ 4974-72
Загальна твердість	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,1	<7,0	ДСТУ ISO 6095:2003
Вміст Кальцію, $\text{Ca}^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	Не виявлено	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Магнію, $\text{Mg}^{2+}$	мг/дм <sup>3</sup>	1,22	не нормується	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Натрію та Калію, $\text{Na}^+$ + $\text{K}^+$	мг/дм <sup>3</sup>	178,8	не нормується	Методика на рХ
Лужність	ммоль/дм <sup>3</sup>	7,28	не нормується	ГОСТ 23268.3-78
Вміст гідроген карбонатів, $\text{HCO}_3^-$	мг/дм <sup>3</sup>	444,2	не нормується	
Вміст хлоридів, $\text{Cl}^-$	мг/дм <sup>3</sup>	20,91	<250,0	ДСТУ ISO 9297:2007
Вміст сульфатів, $\text{SO}_4^{2-}$	мг/дм <sup>3</sup>	0,56	<250,0	ГОСТ 4389-72

## Фізико-хімічні показники якості води питної «Сіверська»

Найменування показника	Одиниці вимірювання	Фактичне значення	Норматив ДСанПіН 2.2.4-171-10	Методика виконання досліджень
Водневий показник, рН	один. рН	6,39	6,5...8,5	ДСТУ 4077-2001
Вміст заліза загального, Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	<0,2	ГОСТ 4011-72
Вміст Мангану, Mn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,02	<0,05	ГОСТ 4974-72
Загальна твердість	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,29	<7,0	ДСТУ ISO 6095:2003
Вміст Кальцію, Ca <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	1,96	<130	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Магнію, Mg <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	2,43	<80	ГОСТ 23268.5-78
Вміст Натрію та Калію, Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	31,1	<200,0	Методика на рХ
Лужність	ммоль/дм <sup>3</sup>	1,5	<6,5	ГОСТ 23268.3-78
Вміст гідроген-карбонатів, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	91,53	не нормується	
Вміст нітритів, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,003	<0,5	ГОСТ 4192-89
Вміст нітратів, NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,001	<50,0	ДСТУ 4078-2001
Вміст хлоридів, Cl <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	5,5	<250,0	ДСТУ ISO 9297:2007
Вміст сульфатів, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,05	<250,0	ГОСТ 4389-72
Вміст поліфосфатів, PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,01	<3,5	МВИ 081/37-0733-10
Вміст фторидів, F <sup>-</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,03	0,7...1,2	ГОСТ 4386-89
Вміст Цинку, Zn <sup>2+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,005	<1,0	МВВ 081/0173-05
Вміст Алюмінію, Al <sup>3+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	<0,03	<0,2	МВИ 081/37-0735-11
Вміст Молібдену, MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		<0,0025	<0,07	ГОСТ 18308-72
Вміст амонію, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	мг/дм <sup>3</sup>	0,20	<0,5	ГОСТ 4192-82
Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	63,00	<1000	ГОСТ 18164-72

Обов'язковим для виконання в Україні є нормативно-правовий акт центрального органу виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері охорони здоров'я, а саме Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10). Згідно з цим документом, вміст кальцію (не більше ніж 130 мг/дм<sup>3</sup>) та магнію (не більше ніж 80 мг/дм<sup>3</sup>) нормується тільки для води фасованої, з пунктів розливу та бюветів. Показники фізіологічної повноцінності питної води для кальцію становлять 25–75 мг/дм<sup>3</sup>, магнію – 10–50 мг/дм<sup>3</sup>.

Національний стандарт ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» набрав чинності з 01 лютого 2015 року. Вимоги цього національного стандарту є добровільними для застосування і суб'єкт господарювання самостійно приймає рішення щодо застосування положень ДСТУ 7525:2014 у своїй сфері діяльності. Цей стандарт встановлює вміст кальцію у воді нецентралізованого питного водопостачання (фасованій та нефасованій) не більше як 130 мг/дм<sup>3</sup>, магнію – не більше як 80 мг/дм<sup>3</sup> (оптимальний вміст кальцію – 25–75 мг/дм<sup>3</sup>, магнію – 10–50 мг/дм<sup>3</sup>).

Таким чином, після очистки рівень іонів Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> нижче фізіологічного. Така вода потребує додаткової мінералізації. При змішуванні води після першого етапу очищення з очищеною на другому етапі зворотним осмосом водою в різних співвідношеннях можна одержати воду із заданим хімічним складом.

У роботі розглянуто можливість вибору коефіцієнта змішування двох типів води за використання найпростішого додатку – електронного табулятора Microsoft Office Excel. Пропонується проведення оперативного оцінювання коефіцієнта змішування для визначення концентрації іонів в одержаній воді (рис. 1).

У зв'язку з тим, що склад артезіанської води частково змінюється та змінюється ступінь очищення води за умов поступового насичення катіонітів, то важливим є можливість оперативного вибору об'ємів води для змішування з метою одержання результуючої суміші з необхідною концентрацією іонів (C<sub>3</sub>), виходячи з хімічного складу кожної води. Для реалізації



обраного шляху мінералізації рекомендується встановити ємність об'ємом 5 м<sup>3</sup>, в яку буде закачуватись вода після першого і другого ступенів очистки та додаткові трубопроводи (підводи води) до цього бака після 1-го і 2-го ступенів водоочистки. Для точного дозування води у відповідності з обраним коефіцієнтом змішування (обирається оператором за допомогою розрахунків програми Exel на основі даних хімічного складу води, визначених сертифікованою лабораторією) встановлюється цифровий датчик рівня води ECMS. Відповідно, можливі такі варіанти змішування V<sub>1</sub> (вода після першого ступеня очистки (іонообмінний) та V<sub>2</sub> (вода після другого ступеня водоочищення (зворотний осмос) V<sub>1</sub>:V<sub>2</sub> як 0,5:4,5 (рис. 1); 1:4 (рис. 2); 1,5:3,5 (рис. 3); 2:3 (рис. 4). Для цього сторінка книги (Exel) сформована під кожне співвідношення (коефіцієнт змішування) і при введенні значень концентрації кожного іона оператор одразу бачить концентрацію C<sub>3</sub>.

На рис. 1–4 наведено розрахунок для води, показники якості якої визначено 10 березня 2021.

№	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Показник	C <sub>1,мг/л</sub> <sup>1</sup>	μ <sub>1,мг</sub>	C <sub>2,мг/л</sub> <sup>2</sup>	μ <sub>2,мг</sub>	C <sub>3,мг/л</sub> <sup>3</sup>
2	Катіони					
3	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	3,650	1,825	0,010	0,045	0,267
4	Mn <sup>2+</sup>	0,380	0,190	0,020	0,090	0,040
5	Ca <sup>2+</sup>	80,520	40,260	1,960	8,820	7,011
6	Mg <sup>2+</sup>	19,460	9,730	2,430	10,935	2,952
7	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	46,050	23,025	31,100	130,950	23,262
8	Zn <sup>2+</sup>	0,084	0,042	0,005	0,023	0,009
9	Al <sup>3+</sup>	0,200	0,100	0,030	0,135	0,034
10	Аніони					
11	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	445,400	222,700	91,530	411,885	90,655
12	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,003	0,002	0,003	0,014	0,002
13	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001
14	Cl <sup>-</sup>	19,250	9,625	5,500	24,750	4,911
15	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,060	0,030	0,050	0,225	0,036
16	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,010	0,005	0,010	0,045	0,007
17	F <sup>-</sup>	1,030	0,515	0,030	0,135	0,093

Рис. 1. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 0,5:4,5

№	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Показник	C <sub>1,мг/л</sub> <sup>1</sup>	μ <sub>1,мг</sub>	C <sub>2,мг/л</sub> <sup>2</sup>	μ <sub>2,мг</sub>	C <sub>3,мг/л</sub> <sup>3</sup>
2	Катіони					
3	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	3,650	3,650	0,010	0,040	0,527
4	Mn <sup>2+</sup>	0,380	0,380	0,020	0,080	0,066
5	Ca <sup>2+</sup>	80,520	80,520	1,960	7,840	12,625
6	Mg <sup>2+</sup>	19,460	19,460	2,430	9,720	4,169
7	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	46,050	46,050	31,100	124,400	24,350
8	Zn <sup>2+</sup>	0,084	0,084	0,005	0,020	0,015
9	Al <sup>3+</sup>	0,200	0,200	0,030	0,120	0,046
10	Аніони					
11	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	445,400	445,400	91,530	366,120	115,951
12	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,003	0,003	0,003	0,012	0,002
13	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001
14	Cl <sup>-</sup>	19,250	19,250	5,500	22,000	5,893
15	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,060	0,060	0,050	0,200	0,037
16	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,010	0,010	0,010	0,040	0,007
17	F <sup>-</sup>	1,030	1,030	0,030	0,120	0,164

Рис. 2. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 1:4

№	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Показник	C <sub>1,мг/л</sub> <sup>1</sup>	μ <sub>1,мг</sub>	C <sub>2,мг/л</sub> <sup>2</sup>	μ <sub>2,мг</sub>	C <sub>3,мг/л</sub> <sup>3</sup>
2	Катіони					
3	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	3,650	5,475	0,010	0,035	0,787
4	Mn <sup>2+</sup>	0,380	0,570	0,020	0,070	0,091
5	Ca <sup>2+</sup>	80,520	120,780	1,960	6,860	18,234
6	Mg <sup>2+</sup>	19,460	29,190	2,430	8,505	5,385
7	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	46,050	69,075	31,100	108,850	25,418
8	Zn <sup>2+</sup>	0,084	0,126	0,005	0,018	0,021
9	Al <sup>3+</sup>	0,200	0,300	0,030	0,105	0,058
10	Аніони					
11	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	445,400	668,100	91,530	320,355	141,208
12	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,003	0,005	0,003	0,011	0,002
13	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001	0,002	0,001	0,004	0,001
14	Cl <sup>-</sup>	19,250	28,875	5,500	19,250	6,875
15	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,060	0,090	0,050	0,175	0,038
16	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,010	0,015	0,010	0,035	0,007
17	F <sup>-</sup>	1,030	1,545	0,030	0,105	0,236

Рис. 3. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 1,5:3,5

№	А	В	С	Д	Е	Ф
1	Показник	C <sub>1,мг/л</sub> <sup>1</sup>	μ <sub>1,мг</sub>	C <sub>2,мг/л</sub> <sup>2</sup>	μ <sub>2,мг</sub>	C <sub>3,мг/л</sub> <sup>3</sup>
2	Катіони					
3	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	3,650	12,775	0,010	0,015	2,558
4	Mn <sup>2+</sup>	0,380	1,330	0,020	0,030	0,272
5	Ca <sup>2+</sup>	80,520	261,820	1,960	2,940	56,952
6	Mg <sup>2+</sup>	19,460	68,110	2,430	3,645	14,351
7	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	46,050	161,175	31,100	46,650	41,565
8	Zn <sup>2+</sup>	0,084	0,294	0,005	0,008	0,080
9	Al <sup>3+</sup>	0,200	0,700	0,030	0,045	0,149
10	Аніони					
11	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	445,400	1558,900	91,530	137,295	339,239
12	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	0,003	0,011	0,003	0,005	0,003
13	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,001	0,004	0,001	0,002	0,001
14	Cl <sup>-</sup>	19,250	67,375	5,500	8,250	15,125
15	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	0,060	0,210	0,050	0,075	0,057
16	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,010	0,035	0,010	0,015	0,010
17	F <sup>-</sup>	1,030	3,605	0,030	0,045	0,730

Рис. 4. Приклад розрахунків за співвідношення об'ємів 2:3

Інший варіант – встановлення автоматичної системи водопідготовки, наприклад, компанії ТОВ “Техноімпекс” [15]. Для дистанційного контролю та управління технологічним процесом у режимі реально часу використовується ПК зі встановленим програмним забезпеченням для комп’ютерної візуалізації Omron CX-Supervisor. Застосовуючи один з 17 блоків лінії водопідготовки за заданим алгоритмом з контролем питомої електропровідності води можливо оперативно впливати на процеси одержання води із заданим хімічним складом. Так, максимальний діапазон виміру питомої електропровідності води модулем – 200 мСм/м приблизно відповідає загальній мінералізації 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Також у складі цієї автоматичної системи можна використовувати модулі розширення, наприклад, модуля аналогових входів Omron CJ1W-AD081-V1, для підключення датчиків мутності води, рівня води в накопичувальній ємності та тиску води на виході системи.

**Висновки.** Встановлено, що очистка води на ТОВ «Нептун» за допомогою зворотного осмосу призводить до її демінералізації, що підвищує ризик розвитку захворювань, зумовлених дефіцитом мікро- та макроелементів.

У роботі розглянуто можливість автоматизації процесу підготовки води із забезпеченням необхідного для кінцевого споживача хімічного складу. За вимогою замовника - ТОВ "Нептун", автоматизація обробки поточних показників якості питної води і доведення їх до необхідних має забезпечуватись наявними у них ліцензійними пакетами програм, зокрема MS Excel, що надалі отримає свій розвиток у пакетах з більш широким спектром функціональних алгоритмів і розвиненою графікою.

Запропоновані програмні результати демонструють можливість надання на виробництво більш зручного шляху проведення розрахунків для визначення оптимального коефіцієнту змішування води з різним хімічним складом.

#### Список використаних джерел

1. Толстопалова Н. М. Технологія та обладнання одержання питної та технічної води. Практикум. Частина 1 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для студ. спеціальності 161 «Хімічні технології та інженерія», спеціалізації «Хімічні технології неорганічних речовин та водоочищення» / Н. М. Толстопалова, М. І. Літинська, Т. І. Обушенко. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 101 с. – Режим доступу: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29414>.
2. Cheremisinoff N. P. Handbook of water and wastewater treatment technologies / N. P. Cheremisinoff. – В.: Butterworth-Heinemann, 2002. – 645 p.
3. Senior D. Technology of bottled water. Second Edition / D. Senior, N. Dege. – UK: Blackwell Publishing, 2005. – 411 p.
4. Water mineralization and its importance for health / Ferreira-Pêgo C. et al. // Alimentacion, Nutricion y Salud. – 2016. – Vol. 23, № 1. – P. 4–18.
5. Файвішенко Д. С. Споживчий ринок мінеральної води: українські реалії / Д. С. Файвішенко // Підприємництво і торгівля. – 2019. – № 25. – С. 122–128.
6. Волошина М. Аналіз ринку мінеральної води України з 2016 року [Електронний ресурс] / М. Волошина. – Режим доступу: <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/analiz-rynka-mineralnoi-vody-2016.html>.
7. Сичов М. І. Бювети як альтернативна складова якісного водопостачання / М. І. Сичов, Л. В. Коломієць, С. Д. Болдирєв // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2015. – № 1(6). – С. 6–10.
8. Збалансованість мінерального складу питних вод як чинник впливу на здоров’я населення міських агломерацій північно-західного причорномор’я / Т. А. Сафранов, Н. В. Грабко, А. А. Поліщук, Г. Г. Трохименко // Вісник Одеського державного екологічного університету. – 2016. – № 20. – С. 5–17.
9. Медико-гідрогеохімічні чинники геологічного середовища України / за ред. Г. І. Рудька. – Київ – Чернівці : Букрек, 2015. – 724 с.
10. Автоматизація підприємств харчової промисловості [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.inagro.com.ua/programs/harchova/>.

11. Fast, efficient and user-friendly data analysis – with Tibco® data science / Statistica™ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.statistica.com/en/>.
12. Important ptc mathcad announcement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathcad.com/en/>.
13. Originlab [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.originlab.com>.
14. Microsoft 365 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365>.
15. Автоматизація системи водопідготовки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://technimpex.com/avtomatyzatsiya-systemy-vodopidhotovky>.

### References

1. Tolstopalova, N. M., Litynska, M. I., Obushenko, T. I. (2019). *Tekhnolohiia ta obladnannia oderzhannia pytnoi ta tekhnichnoi vody. Praktykum. Chastyna 1: navchalnyi posibnyk dlia stud. spetsialnosti 161 «Khimichni tekhnolohii ta inzheneriia», spetsializatsii «Khimichni tekhnolohii neorhanichnykh rehovyn ta vodoochyschennia»* [Technology and equipment for obtaining drinking and industrial water. A practical guide. Part 1: study guide for students of the specialty 161 “Chemical technologies and engineering”, specialization “Chemical technologies of inorganic substances and water purification”]. KPI im. Ihoria Sikorskoho. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/29414>.
2. Cheremisinoff, N. P. (2002). *Handbook of water and wastewater treatment technologies*. Butterworth-Heinemann.
3. Senior, D., Dege, N. (2005). *Technology of bottled water. Second Edition*. Blackwell Publishing.
4. Ferreira-Pêgo, C., Babio, N., Maraver Eyzaguirre, F., Vitoria Miñana, I., Salas-Salvadó, J. (2016). Water mineralization and its importance for health. *Alimentacion, Nutricion y Salud – Food, Nutrition and Health*, 23(1), 4–18.
5. Faivishenko, D. S. (2019). Spozhyvchyi rynek mineralnoi vody: ukrainski realii [Mineral water consumer market: ukrainian realities]. *Pidpriumnystvo i torhivlia – Entrepreneurship and Trade*, 25, 122–128 [in Ukrainian].
6. Voloshyna, M. *Analiz rynku mineralnoi vody Ukrainy z 2016 roku* [Analysis of the mineral water market in Ukraine since 2016]. <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/analiz-rynka-mineralnoi-vody-2016.html>.
7. Sychov, M. I., Kolomiets, L. V., Boldyriev, S. D. (2015). Biuvety yak alternatyvna skladova yakisnoho vodopostachannia [Pump room as an alternative component water quality]. *Zbirnyk naukovykh prats Odeskoi derzhavnoi akademii tekhnichnoho rehuliuвання ta yakosti – Collection of scientific works of the Odesa State Academy of Technical Regulation and Quality*, 1(6), 6–10.
8. Safranov, T. A., Hrabko, N. V., Polishchuk, A. A., Trokhymenko, H. H. (2016). Zbalansovanist mineralnogo skladu pytnykh vod yak chynnyk vplyvu na zdorovia naseleння miskykh ahlomeratsii pivnichno-zakhidnoho prychnornomia [Balanced mineral composition of drinking water as a factor of influence on health of the population of urban agglomerations northwest Black sea region]. *Visnyk Odeskoho derzhavnogo ekolohichnoho universytetu – Bulletin of the Odessa State Ecological University*, 20, 5–17.
9. Rudka, H. I. (Ed.). (2015). *Medyko-hidroheokhimichni chynnyky heolohichnoho seredovyscha Ukrainy* [Medical and hydrogeochemical factors of the geological environment of Ukraine]. Bukrek.
10. *Avtomatyzatsiia pidpriumstv kharchovoi promyslovosti* [Automation of food industry enterprises]. (n.d.). <https://www.inagro.com.ua/programs/harchova/>.
11. Fast, efficient and user-friendly data analysis – with Tibco® data science / Statistica™. <https://www.statistica.com/en/>.
12. Important ptc mathcad announcement. (n.d.). <https://www.mathcad.com/en/>.
13. Originlab. (n.d.). <https://www.originlab.com>.
14. Microsoft 365. (n.d.). <https://www.microsoft.com/uk-ua/microsoft-365>.
15. Avtomatyzatsiia systemy vodopidhotovky [Automation of water treatment system]. (n.d.). <https://technimpex.com/avtomatyzatsiya-systemy-vodopidhotovky/>.

Отримано 25.07.2021

UDC 628.16:004

**Zhanna Zamai<sup>1</sup>, Svitlana Borovyk<sup>2</sup>, Ihor Kostenko<sup>3</sup>,  
Hennadii Pasov<sup>4</sup>, Nataliia Buialska<sup>5</sup>, Serhii Tsybulia<sup>6</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of food technologies  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [zamaizhanna@gmail.com](mailto:zamaizhanna@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2879-4677>

<sup>2</sup>Deputy Director of «Neptune» LLC (Mena, Ukraine)

E-mail: [neptun\\_ltd@ukr.net](mailto:neptun_ltd@ukr.net)

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technologies  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [atdri@ukr.net](mailto:atdri@ukr.net). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1195-5163>

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

<sup>4</sup>Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [genapasov@gmail.com](mailto:genapasov@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

<sup>5</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of food technologies  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [Buialska@gmail.com](mailto:Buialska@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

<sup>6</sup>Doctor in Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technologies  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [stcibula@gmail.com](mailto:stcibula@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7843-6061>

**INFORMATION TECHNOLOGIES IN WATER TREATMENT  
AND POSSIBILITIES OF ITS AUTOMATION ON THE EXAMPLE  
OF DRINKING WATER PRODUCTION “SIVERSKA”**

*The purpose of this study was to analyze the possibility of using information technology to obtain drinking water with a given chemical composition.*

*At Neptune LLC, the chemical composition of artesian well water does not meet the established standards, so they use an effective purification system of ECOSOFT: reagent system FK with a special sorbent ECOMIX for complex removal of hardness salts, iron ions, manganese, ammonium and organic impurities. Ion exchange is used as method of purification: water is filtered through a layer of cation exchange resin. The second stage of purification is reverse osmosis. After such purification, the level of Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> ions is below physiological and water needs additional mineralization, consumption of demineralized water increases the risk of developing diseases caused by deficiency of micro- and macronutrients.*

*When mixing water after the first stage of purification with purified in the second stage of reverse osmosis water in different ratios, you can get water with a given chemical composition.*

*The paper considers the possibility of choosing the mixing ratio of two types of water using the simplest application - Microsoft Office Excel spreadsheet.*

*The tables show the possibility of providing a convenient way to calculate the concentrations of each ion in the water obtained after mixing. To do this, it is recommended to have a volume of 5 m<sup>3</sup> and additional water supply to it after the 1st and 2nd stages of water treatment. A digital water level sensor ECMS is installed for accurate water dosing in accordance with the selected mixing factor. Automation of water treatment will give the chance to make production of various structure depending on orders of consumers.*

*The presented materials can be used at the enterprises carrying out water treatment by mixing of water of various degrees of purification.*

**Keywords:** water treatment; indicators and standards of drinking water quality; reverse osmosis; Exel program; automation.

Fig.: 4. Table: 3. References: 15.

**Наталія Денисова<sup>1</sup>, Наталія Буяльська<sup>2</sup>, Олена Моторко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [4386793@gmail.com](mailto:4386793@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3522-4210>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, кафедри харчових технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [Buialaska@gmail.com](mailto:Buialaska@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

<sup>3</sup>здобувачка вищої освіти  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [elena.buldenko19@gmail.com](mailto:elena.buldenko19@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5420-5990>

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК ВІВСЯНОГО БОРОШНА ТА ЯБЛУЧНОГО ПЮРЕ НА ТЕХНОЛОГІЮ ВИРОБНИЦТВА БІСКВІТІВ

*Розроблено рецептуру бісквітного напівфабрикату з використанням яблучного пюре та вівсяного борошна. Встановлено, що добавка 5 % та 10 % вівсяного борошна і 10 % яблучного пюре сприяє поліпшенню споживчих характеристик випеченого напівфабрикату. Суміш яєць курячих харчових із цукром і яблучним пюре має краіну піноутворювальну здатність, піностійкість, ніж аналогічна з цукром білим кристалічним. Випечені напівфабрикати з яблучним пюре і вівсяним борошном мають більшу масову частку вологи, порівняно з контрольним зразком, проте отримані результати знаходяться в межах норми. Використання яблучного пюре і вівсяного борошна дозволило отримати продукт з поліпшеними показниками якості, високими органолептичними характеристиками та підвищеною харчовою цінністю.*

**Ключові слова:** борошняні кондитерські вироби; бісквіт; вівсяне борошно; яблучне пюре; метод флейвору.

*Рис.: 4. Табл.: 2. Бібл.: 14.*

**Актуальність теми дослідження.** За останні 10 років в Україні відбувається значне розширення асортименту борошняних кондитерських виробів, нарощування обсягів виробництва всієї продуктової лінійки – від борошняних виробів (близько 54 % від обсягу продаж) до цукристих кондитерських виробів (близько 18 %). Бісквітні вироби в структурі обсягів виробництва посідають третє місце. Обмежують поширення даного виду продукції їх висока калорійність та порівняно висока собівартість. До того ж більшість кондитерських виробів бідні на вітаміни та інші біологічно активні речовини, тому постає задача підвищення їх харчової та біологічної цінності.

Перспективним з цієї точки зору є додавання до рецептури бісквіту вівсяного борошна, що за складом амінокислот є наближеним до тваринних білків та відрізняється зниженим вмістом крохмалю і підвищеним вмістом жирів та рослинних харчових волокон [1]. Крім того, вівсяне борошно слугує джерелом таких корисних компонентів, як вітаміни (групи В, Е, А), мікро- та макроелементи (Силіцій, Манган, Селен, Магній, Кальцій, Ферум) [2].

Останнім часом існують технології введення харчових волокон до раціону харчування шляхом використання різноманітного спектра рослинних добавок. Збагачення бісквітів харчовими волокнами рослинної сировини і продуктами її переробки дозволяє отримати не тільки збагачений продукт оздоровчого призначення, але і значно підвищити структурно-механічні властивості готових виробів.

З цього погляду цікавим є використання яблук (концентрати, пюре, пектин, вичавки, порошки) в якості добавки – фруктової сировини, що має збагачений хімічний склад та гарні технологічні властивості, а також використання яких є економічно доцільним для Чернігівського регіону та України загалом. У яблуках містяться вітаміни С, В1, В2, Р, Е, каротин, Калій, Ферум, Манган, Кальцій, пектини, органічні кислоти. Вживання плодів нормалізує травлення, підвищує імунітет, впливає на гормональний фон, поліпшує загальне самопочуття. Низька калорійність дозволяє включати їх в різні дієтичні страви та вироби, спрямовані на оздоровлення або зниження маси тіла [3; 4].

**Постановка проблеми.** Розширення асортименту борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової та біологічної цінності, а саме розроблення технології виробництва бісквітного напівфабрикату з використанням альтернативної сировини (борошна вівсяного та яблучного пюре) є актуальним завданням дослідників харчових технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Поліпшенням функціональних властивостей борошняних кондитерських виробів займалися відомі науковці Дорохович В., Іоргачова К., Макарова О., Пашенко В., Кочерга В., Назар М., Бульчук Е. У роботах [5-11] розглянута можливість використання рослинної сировини (продуктів переробки моркви, гарбуза, соняшнику, кукурудзи, глоду, горобини, калини, волоського горіху, обліпихи, яблук, люпину, топінамбуру, кіноа, гречки, амаранту, льону). Доведений позитивний вплив добавок на фізико-хімічні та органолептичні властивості бісквітного напівфабрикату. Перспективи подальших досліджень, спрямованих на використання вівсяного борошна та продуктів переробки яблук, можна також знайти в ряді останніх зарубіжних робіт [12-14].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз літературних джерел показав, що використання одночасно й альтернативних сортів борошна і рослинних фруктових добавок у виробництві борошняних кондитерських виробів недостатньо вивчено. Додавання вівсяного борошна дозволяє підвищити харчову та біологічну цінність кінцевого продукту, але завдяки зниженому вмісту крохмалю і підвищеному вмісту жирів, фізико-хімічні показники готових виробів погіршуються. У зв'язку з цим необхідно встановити оптимальні концентрації подібних добавок.

**Метою статті** було дослідження впливу добавок яблучного пюре та вівсяного борошна на фізико-хімічні та органолептичні показники якості бісквітного напівфабрикату.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єкт дослідження – бісквітне тісто, виготовлене з різним відсотковим вмістом борошна вівсяного та додаванням яблучного пюре та випечені за традиційними рецептурами з такого тіста бісквіти.

Предмет дослідження – показники якості бісквітного тіста з додаванням вівсяного борошна і яблучного пюре й випеченого з нього напівфабрикату.

Бісквітний напівфабрикат – це пишний, дрібнопористий напівфабрикат з м'яким еластичним м'якушем, технологія якого включає збивання яєчного меланжу з цукром-піском, перемішуванням збитої маси з борошном пшеничним і випічкою отриманого напівфабрикату за установлених значень температури та вологості. Рецепттура бісквітів може передбачати додавання крохмалю задля зниження кількості клейковини в тісті, запобігання затягування. З цією ж метою застосовують ферментні препарати протеолітичної дії. Рецептурний склад бісквітного напівфабрикату змінюється залежно від його виду й подальшого призначення.

При виконанні роботи для виготовлення бісквітних виробів та проведення органолептичних фізико-хімічних та хімічних досліджень була використана така сировина:

- борошно пшеничне вищого ґатунку згідно з ДСТУ 46.004-99 «Борошно пшеничне. Технічні умови»;
- вівсяне борошно згідно з ДСТУ 2422-94;
- крохмаль картопляний згідно з ДСТУ 4380:2005 «Крохмаль картопляний. Технічні умови»;
- яйця курячі згідно з ДСТУ 5028:2008 «Яйця курячі харчові. Технічні умови»;
- цукор білий кристалічний згідно з ДСТУ 4623:2006 «Цукор білий. Технічні умови»;
- яблучне пюре згідно з ГОСТ 18-268 – 76.

Контроль якості тіста проводили за піноутворювальною здатністю, піностійкістю яєчно-цукрової суміші.

Контроль якості випечених напівфабрикатів визначали за:

- органолептичними показниками: форма та стан поверхні бісквітів, колір, смак та запах.

- пористістю бісквітних напівфабрикатів
- вологістю;
- крихкістю.

Характеристика сировини для випікання дослідних зразків та проведення досліджень: борошно пшеничне вищого гатунку вологістю 14,5 %, кислотністю – 3,0 град, зольністю – 0,52 %, та вмістом сирової клейковини 27,0 %. Вологість яєць курячих – 73 %. Вологість вівсяного борошна – 13,5 %, кислотність 4,2. Вологість яблучного пюре – 8 %.

Під час замісу дослідних зразків використовували заміну пшеничного борошна вівсяним у співвідношенні (%): 95 : 5; 90 : 10; 85 : 15; 80 : 20, а також додаванням до кожного зразку яблучного пюре в кількості 10 % від обсягу яєць курячих. Як контрольний було використано зразок тіста того ж рецептурного складу з пшеничним борошном без додавання вівсяного борошна і яблучного пюре.

Досліджували зразки бісквіту контрольного, бісквіту з додаванням яблучного пюре (зразок 1), бісквіту з 5 % вівсяного борошна і яблучним пюре (зразок 2), бісквіту з додаванням 10 % вівсяного борошна і яблучним пюре (зразок 3), бісквіту з додаванням 15% вівсяного борошна і яблучним пюре (зразок 4), бісквіту з додаванням 20 % вівсяного борошна і яблучним пюре (зразок 5). Виготовлення дослідних зразків проводили за методикою пробної лабораторної випічки.

Для пробної лабораторної випічки приймали вихід 250 г, рецептура наведена у табл. 1.

Таблиця 1

Рецептура дослідних зразків бісквіту

Сировина	Вміст сухих речовин, %	Витрата сировини, кг		Витрата сировини, г							
		На 1 т готової фази		Контрольний зразок	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5		
		У натурі	У сухих речовинах	У натурі	У сухих речовинах						
					На 250 г готової фази						
Борошно пшеничне в/г	85,50	281,0	240,26	70,25	60,06	60,06	56,85	53,87	53,87	47,88	
Яйця курячі харчові	27,00	578,5	156,2	144,63	39,05	32,3	32,3	32,3	32,3	32,3	
Цукор білий кристалічний	99,85	347,0	346,5	86,75	86,6	86,6	86,6	86,62	86,62	86,62	
Борошно вівсяне	–	–	–	–	–	–	3,9	7,56	11,4	14,9	
Яблучне пюре	–	–	–	–	–	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	
Крохмаль	80,0	69,4	55,52	17,35	13,88	13,88	10,64	12,6	11,9	11,0	
Всього	–	1275,0	908,78	318,98	199,59	199,59	192,5	195,1	198,5	194,95	
Вихід	75,00	1000,00	750,00	250,00	159,7	159,7	159,7	159,7	159,7	159,7	

Результати проведених досліджень бісквітного напівфабрикату представлено на рис. 1. Встановлено, що при додаванні яблучного пюре до яєчно-цукрової маси, піноутворювальна здатність порівняно з контрольним зразком покращується. При додаванні 5 % вівсяного борошна до яблучно-яєчної суміші піноутворювальна здатність практично не змінюється. З наступним збільшенням вмісту вівсяного борошна – поступово погіршується.

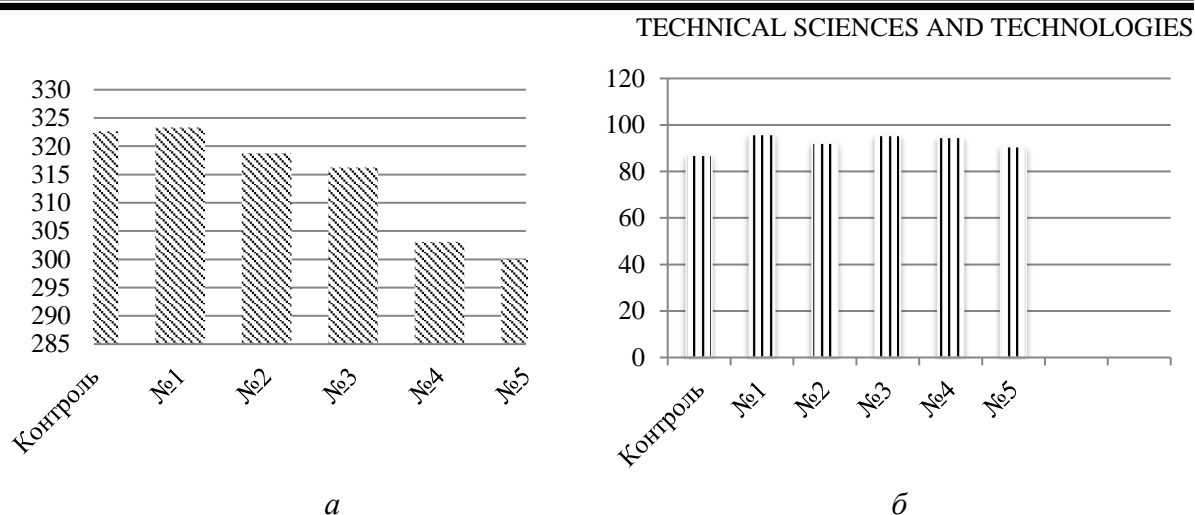


Рис. 1. Результати досліджень а) діаграма зміни піноутворювальної здатності (%) яєчно-цукрової суміші зі збільшенням дозування вівсяного борошна і яблучного пюре; б) діаграма зміни піностійкості яєчно-цукрової суміші (хвил.).

Виявлено, що стійкість піни зростає при додаванні яблучного пюре, а також при додаванні вівсяного борошна, але зі збільшенням його дозування показники незначно погіршуються. Поліпшення піностійкості зразків із вмістом яблучного пюре обумовлено поверхнево-активними властивостями пектинових речовин. У разі дозування 20 % вівсяного борошна система занадто обтяжується. Пухирці повітря виходять, маса зменшується в об'ємі.

Визначення показників якості випечених напівфабрикатів досліджено органолептичним методом за формою, станом поверхні зразків, кольором, смаком та запахом (табл. 2). Зовнішній вигляд випечених зразків наведено на рис. 2.

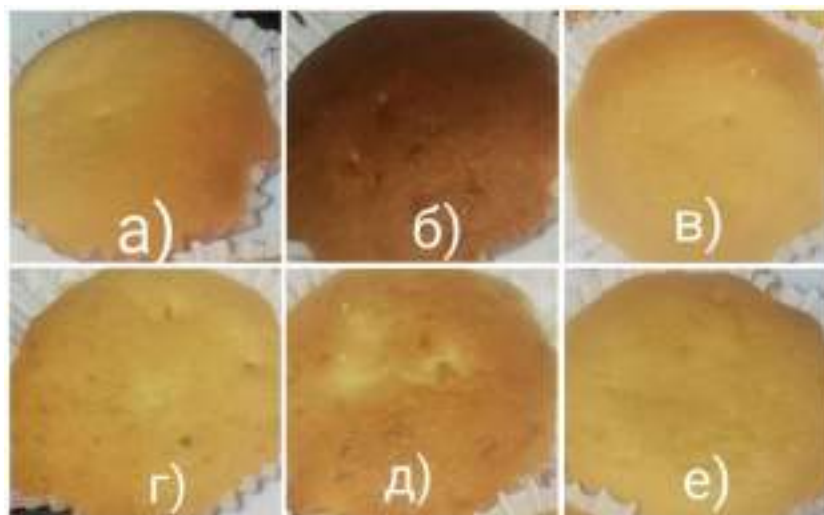


Рис. 2. Зовнішній вигляд випечених зразків:  
а – контрольного зразка; б – зразка 1; в – зразка 2;  
г – зразка 3; д – зразка 4; е – зразка 5

Оцінка органолептичних властивостей зразків проведено методом флейвору. Результат представлено на рис. 3. За площами отриманих багатокутників встановлено, що відношення площ дослідних зразків до площі контрольного зразка становить: 0,84; 0,90; 0,81; 0,81; 0,77 відповідно, що показує недостатність відносного показника рівню допустимих значень (0,9) зразків 1, 3, 4, 5. Таким чином, найбільш якісним за результатами є зразок 2, що має відносний показник у діапазоні (0,9...1).



Таблиця 2

## Органолептичні показники випечених зразків бісквіту

Показник	Значення		
	Контрольний зразок	Зразок 1	Зразок 2
Форма	Злегка блискуча, випукла	Злегка блискуча, верхівка округла	Гладенька, із помітним блиском по усій площі
Колір м'якушки	Світло-коричневий	Світло-коричневий	Світло-коричневий
Запах	Характерний, без сторонніх запахів	Наявний запах яблука	Наявний запах яблука
Смак	Характерний, присмний, в міру солодкий	Характерний, приємний, наявний аромат яблука	Характерний, присмний, наявний аромат яблука, в міру солодкий
Поверхня	Не підгоріла, поверхня бісквіту без наявності тріщин і підривів	Не підгоріла, поверхня бісквіту без наявності тріщин і підривів	Не підгоріла, поверхня бісквіту без наявності тріщин і підривів
Вид у розламі	Добре пропечений, без слідів закалу і слідів непромісу	Добре пропечений, без слідів закалу і слідів непромісу	Добре пропечений, без слідів закалу і слідів непромісу
Показник	Значення		
	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
Форма	Гладенька, із помітним блиском по усій площі	Гладенька, із помітним блиском по усій площі	Гладенька, із помітним блиском по усій площі
Колір м'якушки	Світло-коричневий з сірим відтінком	Світло-коричневий з сірим відтінком	Світло-коричневий з сірим відтінком
Запах	Наявний запах яблука та вівсяного борошна	Наявний запах яблука та вівсяного борошна	Наявний запах яблука та сильний запах вівсяного борошна
Смак	Характерний, приємний, наявний аромат яблука, відчувається аромат вівсяного борошна, в міру солодкий	Характерний, приємний, наявний аромат яблука, відчувається аромат вівсяного борошна, в міру солодкий	Характерний, приємний, наявний аромат яблука, дуже сильно відчувається аромат вівсяного борошна, в міру солодкий
Поверхня	Не підгоріла, поверхня бісквіту, з невеликим підривом збоку	Не підгоріла, поверхня бісквіту, з невеликим підривом збоку	Не підгоріла, поверхня бісквіту без наявності тріщин і підривів
Вид у розламі	Добре пропечений, без слідів закалу і слідів непромісу	Добре пропечений, без слідів закалу і слідів непромісу	Добре пропечений, без слідів закалу і слідів непромісу

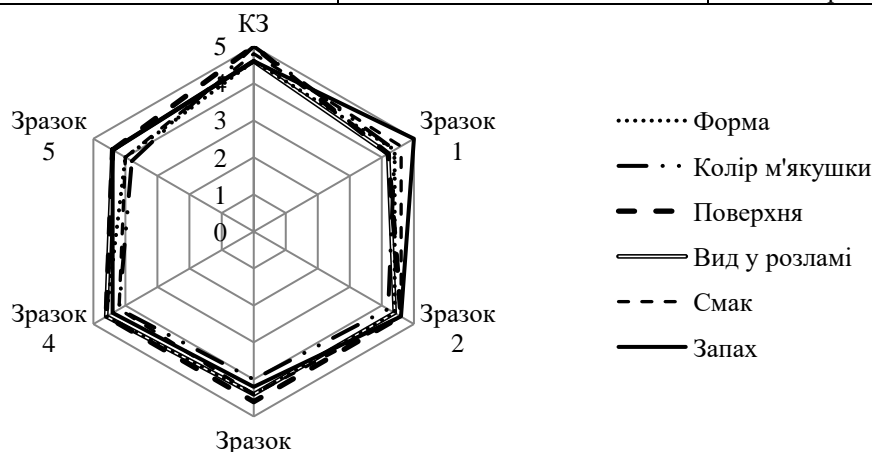


Рис. 3. Структурно-механічні та фізико-хімічні показники модельних зразків бісквітного напівфабрикату методом флейвору

Результати дослідження якісних показників готових бісквітів представлено на рис. 4.

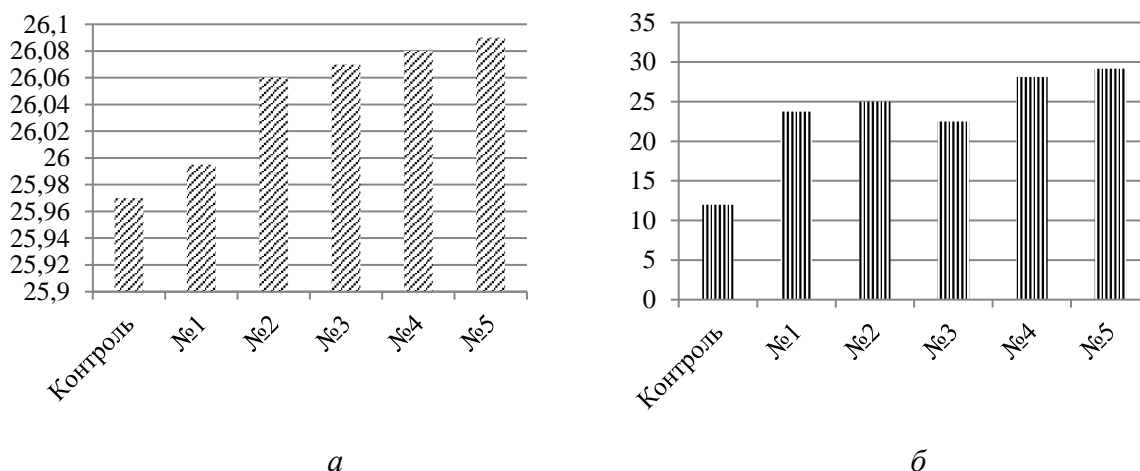


Рис. 4. Результати досліджень готових зразків:

а) зміна масової частки вологи у різних зразках бісквітного напівфабрикату;

б) діаграма зміни крихкості випечених зразків

Встановлено, що вівсяне борошно у бісквітному напівфабрикаті здатне поглинати більше води та затримувати її у випеченому напівфабрикаті, але в незначній мірі. Це можна пояснити високою водо-поглинаючою та волого-утримуючою здатністю вівсяного борошна, яке, приймаючи участь у процесах структурування бісквітного напівфабрикату, проявляє здатність утворювати з рецептурними інгредієнтами нові зв'язки та підвищувати у тісті кількість зв'язаної вологи. Проте всі результати відповідають вимогам нормативно-технічної документації, згідно якої масова частка вологи має складати  $(25 \pm 2) \%$ .

Високий вміст вівсяного борошна забезпечує надмірну крихкість напівфабрикату, що ускладнює його обробку під час виготовлення тортів та тістечок.

**Висновки.** Бісквіти, збагачені яблучним пюре та вівсяним борошном мають добрі якісні та технологічні характеристики, що дає напрям щодо подальших досліджень з розробки продукції оздоровчого призначення. За фізико-хімічними, структурно-механічними та органолептичними показниками, найкращі характеристики мали зразки з додаванням 10 % яблучного пюре та вівсяного борошна у кількості 5 та 10 %.

#### Список використаних джерел

1. Ройтер І. М. Сировина хлібопекарного, кондитерського і макаронного виробництв : довідник / І. М. Ройтер , А. А. Макаренкова . – Київ : Урожай, 2003. – 208 с.
2. Технологія кондитерських і хлібобулочних виробів : навч. посіб. / Лисюк Г. М. та ін. ; під ред. Г. М. Лисюк. – Харків : ХДУХТ, 2007. – 412 с.
3. Коломникова Я. П. Способы улучшения рецептуры бисквитного полуфабриката / Я. П. Коломникова, Е. П. Питайкина // Актуальная биотехнология. – 2013. – № 1(4). – С. 27–29.
4. Покращення якості продукції з бісквітного тіста : звіт про науково-дослідну роботу / Хаткевич Ю. М. та ін. – Харків : ХДУХТ, 2012. – 83 с.
5. Влияние мучных композитных смесей на показатели качества бисквитных полуфабрикатов / Иоргачева Е. та ін. // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – 2009. – Вип. 36(1). – С. 216–221.
6. Дорохович В. В. Застосування морквяного соку при розробленні бісквітів функціонального призначення / В. В. Дорохович // Продукты & Ингредиенты. – 2013. – № 8. – С. 22–23.
7. Лисюк Г. М. Вплив насіння льону на якість бісквітного напівфабрикату / Г. М. Лисюк, О. Г. Шидакова-Каменюка, О. Чухрай // Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі. – 2010. – Вип. 1(11). – С. 260–265.

8. Назар М. І. Визначення вітамінно-мінерального складу виробів з бісквітного тіста на основі борошняних сумішей і фітокомпозицій / М. І. Назар, В. І. Кочерга // Харчова наука і технологія. – 2012. – № 3(20). – С. 59–62.
9. Філь М. І. Дослідження можливості використання гарбузового порошку в технології бісквітів / М. І. Філь, О. Я. Родак // Продукты & Ингредиенты. – 2012. – № 4. – С. 16–17.
10. Пащенко В. Л. Плоды боярышника – перспективный ингредиент в технологии производства бисквита / В. Л. Пащенко, Т. Ф. Ильина, Т. И. Ермоленко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 3. – С. 56–57.
11. Бульчук Е. Яблочное поре в технологии бисквита / Е. Бульчук // Хлебопродукты. – 2010. – № 1. – С. 36–38.
12. Enhancement of Nutritional Value, Quality and Sensory Properties of Biscuit by Incorporating Oat Flour / Wallaa A. El-Qatey et al. // Journal of Agricultural and Veterinary Sciences. – 2018. – Vol. 11, No. 2. – Pp. 213–224.
13. Chemical, Rheological and Sensory Properties of Wheat-oat Flour Composite Cakes and Biscuits / Hoda Zaki et al. // Journal of Productivity and Development. – 2018. – Vol. 23(2). – Pp. 287–306.
14. Development of Apple Pomace Enriched Oat Flour Biscuits and its Quality Evaluation during Storage / Pooja Soni et al. // International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. – 2020. – Vol. 9(8). – Pp. 2642–2652.

### References

1. Roiter, Y.M., & Makarenkova, A.A. (2003). *Syrovyna khlibopekarnoho, kondyterskoho y makaronnoho vyrobnytstv: dovidnyk [Raw materials for bakery, confectionery and pasta production: a reference book]*. Urozhai.
2. Lysiuk, H.M., Samokhvalova, O.V., Kucheruk, Z.I., Postnova, O.M., Oliinyk, S.H., Artamonova, M.V., Niemirich, O.V., & Starchaienko, O.T. (2007). *Tekhnolohiia kondyterskykh i khlibobulochnykh vyrobiv: navch. posib. [Technology of confectionery and bakery products: study guide]*. (H. M. Lysiuk, Ed.). HDUHT.
3. Kolomnikova, Ia.P., & Pitaikina, E.P. (2013). Sposoby uluchsheniia retseptury biskvitnogo polufabrikata [Ways of the biscuit semi-finished product's recipe improvement]. *Aktualnaia biotekhnologiya – Actual biotechnology*, 1(4), 27–29.
4. Khatskevych, Yu.M., Seliutina, H.A., Cherevychna, N.I., Olkhovska, V.S., Shcherbakova, T.V., Ovchynnikova, I.F., Tomashevskaya, R.Ya., Popova, T.M., Bilous, V.I., & Hapontseva, O.V. (2012). *Pokrashchennia yakosti produktsii z biskvitnogo tista: zvit pro naukovo-doslidnu robotu [Improving the quality of biscuit dough products: research report]*. HDUHT.
5. Iorgacheva, E.G., Makarova, O.V., Kotuzaki, E.N., & Kozhokar, N.N. (2009). Vliianie muchnykh kompozitnykh smesei na pokazateli kachestva biskvitnykh polufabrikatov [Influence of flour composite mixes on quality indicators of biscuit semi-finished products]. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii – Scientific works [Odessa national academy of food technologies]*, 36(1), 216–221.
6. Dorokhovych, V.V. (2013). Zastosuvannia morkvianoho soku pry rozroblenni biskvitiv funktsionalnogo pryznachennia [The use of carrot juice in the development of biscuits of functional purpose]. *Produkty & Ingredyenty – Food & Ingredients*, 8, 22–23.
7. Lysiuk, H.M., Shydakova-Kameniuka, O.H., & Chukhrai, O. (2010). Vplyv nasinnia lonu na yakist biskvitnogo napivfabrykatu [Influence of flax seeds on the quality of biscuit semi-finished product]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohiia kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho hospodarstva ta torhivli – Progressive equipment and technologies of food production, restaurant business and trade*, 1 (11), 260–265.
8. Nazar, M.I., & Kocherha, V.I. (2012). Vyznachennia vitaminno-mineralnogo skladu vyrobiv z biskvitnogo tista na osnovi boroshnianykh sumishei i fitokompozitsii [Determination of vitamin and mineral composition of products from biscuit dough based on flour mixtures and phytocomposition]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia – Food Science and Technology*, (3(20)), 59–62.
9. Fil, M.I., & Rodak, O.Ia. (2012). Doslidzhennia mozhlyvosti vykorystannia harbuзового poroshku v tekhnolohii biskvitiv [The study of the possibility of using pumpkin powder in biscuit technology]. *Produkty & Ingredyenty – Food & Ingredients*, 4, 16–17.

10. Pashchenko, V.L., Iliina, T.F., & Ermolenko, T.I. (2010). Plody boiaryshnika – perspektivnyi ingredient v tekhnologii proizvodstva biskvita [Hawthorn fruit – a promising ingredient in biscuit production technology]. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria – Storage and processing of farm products*, 3, 56–57.
11. Bulchuk, E. (2010). Iablochnoe piure v tekhnologii biskvita [Apple puree in the biscuit production technology]. *Khleboprodukty – Bakery products*, 1, pp. 36–38.
12. Wallaa A. El-Qatey, Mohamed, G.E., Gadallah, & Zainb A. Shabib. (2018). Enhancement of Nutritional Value, Quality and Sensory Properties of Biscuit by Incorporating Oat Flour. *Journal of Agricultural and Veterinary Sciences*, 11(2), 213–224.
13. Hoda M. Zaki, Elshawaf, A.M., Makhzangy, A.El., & Hussein, A.M.S. (2018). Chemical, Rheological and Sensory Properties of Wheat-oat Flour Composite Cakes and Biscuits. *Journal of Productivity and Development*, 23(2), 287–306.
14. Pooja Soni, Sharma, K.D., Sakshi Sharma, Vivek Mehta, & Surekha Attri (2020). Development of Apple Pomace Enriched Oat Flour Biscuits and its Quality Evaluation during Storage. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(8), 2642–2652.

Отримано 12.08.2021

UDC 664.681:613.292

**Natalya Denisova<sup>1</sup>, Nataliia Buialska<sup>2</sup>, Olena Buldenko<sup>3</sup>**<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of food technologies Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)**E-mail:** [4386793@gmail.com](mailto:4386793@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3522-4210><sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of food technologies Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)**E-mail:** [Buialska@gmail.com](mailto:Buialska@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604><sup>3</sup>Student

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [elena.buldenko19@gmail.com](mailto:elena.buldenko19@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5420-5990>**THE STUDY OF INFLUENCE OF OAT FLOUR AND APPLE SAUCE ADDITIVES ON THE BISCUIT PRODUCTION TECHNOLOGY**

*The use of oat flour and applesauce increases the content of dietary fiber, micronutrients and macronutrients, as well as vitamins in biscuits. Thanks to this, biscuits can be used as valuable food products in order to obtain a balanced diet and expand the range of health food products.*

*Expanding the range of confectionery products of increased nutritional and biological value, namely the development of a technology of biscuit semi-finished products with adding oat flour and applesauce, is an urgent task for researchers in the field of food technologies.*

*Preliminary studies for identification of the optimal concentrations of added ingredients in order to prevent a decrease in the quality of the finished product are needed for developing the technology of enriched biscuits obtained by adding of oat flour and applesauce.*

*An analysis of previously published works showed that to date in the scientific literature little attention has been paid to the use of oat flour and apple processing products in biscuit technology.*

*The aim of the paper is to study the influence of additives of oat flour and applesauce on the physical, chemical and organoleptic indicators of the quality of the biscuit semi-finished product.*

*The production of experimental samples was carried out according to the laboratory baking method. When kneading the experimental samples, the replacement of wheat flour with oat one was used in ratio (%): 95 : 5; 90 : 10; 85 : 15; 80 : 20. Besides, applesauce in the amount of 10 % of volume of melange was added to each sample. On the basis of physical, chemical, structural, mechanical and organoleptic indicators, the best characteristics were obtained for samples of biscuits with a content of 10% of applesauce and 5 or 10 % of oat flour.*

**Keywords:** flour confectionery, biscuit; oat flour; applesauce; flavor method.**Fig.:** 4. **Tables:** 2. **References:** 14.

## РОЗДІЛ IV. ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-237-243

UDC 621.5.045

**Patrik Šarga<sup>1</sup>, Patrik Strnisko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation and Human Machine Interactions  
Technical University of Košice (Košice, Slovakia)

E-mail: [patrik.sarga@tuke.sk](mailto:patrik.sarga@tuke.sk). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5566-8871>

<sup>2</sup>Student of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering  
Technical University of Košice (Košice, Slovakia)

E-mail: [patrik.strnisko@student.tuke.sk](mailto:patrik.strnisko@student.tuke.sk)

### PROPOSAL OF MONITORING OF THE HEAT EXCHANGER STATION

*The presented paper describes the creation of a “low-cost” monitoring security system based on the IoT platform connecting to the cloud. We focused on heat exchanger station, which is used in a block of flats. A simulation solution was developed together with 3D visualization and a practical test.*

*Final monitoring system informed the operator about the current state of the heat exchanger station and operator can intervene in time so that heat exchanger station is not suddenly damaged or cause some damage. Such monitoring system will find application in practice, but also in the teaching process, as the preparation of graduates for the modern monitoring systems, which are increasingly used in practice, will be improved. The presented paper is a scientific and methodological publication.*

**Keywords:** Monitoring; Security; Internet of Things; Cloud, Arduino.

*Fig.: 7. References: 12.*

**Urgency of the research.** Currently, there is a significant trend in the use of IoT technology with a cloud connection. Such deployment is carried out for various reasons, such as increasing production efficiency - economic, pollution monitoring - environmental, health monitoring - medical, weather monitoring - agriculture, traffic monitoring - transport, etc. The data obtained using IoT technology are then processed and based on them we can predict the further development of the monitored parameters. It is estimated that by 2025 there will be approximately 75.44 billion IoT devices worldwide [1].

**Target setting.** The aim of the research was to create a low-cost system for monitoring and securing heat exchanger station.

**Actual scientific researches and issues analysis.** IoT technology is used in various fields. Applications can be found, for example, in smart environment monitoring [2], energy management [3], security monitoring [4], parking management [5], condition monitoring [6], health monitoring [7], disaster and forecast monitoring [8] and others. At the same time any object can be transformed into an IoT object, thanks to an internet connection. For example, a light bulb that can be turned on using a mobile application is an IoT device, as well as a motion sensor or intelligent thermostat, or a connected street light. In some larger objects, multiple IoT components can be used, such as an engine, to which we connect a number of sensors and they collect and transmit data to ensure that the engine works as it should. Sensors on conveyor belts control the amount and speed of moving objects. Or various smaller objects, such as a boiler, air, heat, water exchange stations and various others. To a greater extent, smart city or industrial complex projects fill large units with sensors that help us understand, control and manage the environment [9].

Specific solutions used in industry are offered, for example, by Amper Technologies [10] or Axzon [11]. The Amper Technologies system and their Factory OS effectively use sensors to improve the manufacturing process. Sensors register a range of important aspects, including

energy consumption and downtime, so management can better plan individual processes, reduce costs and pinpoint growth areas. Axzon sensors provide real-time data during the manufacturing process in the automotive industry, and their predictive maintenance technology monitors the condition of factory equipment to prevent failures and time-consuming repairs.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Existing professional solutions are costly, and this can be an obstacle to setting them into practice. The present article aims to contribute to the development of affordable monitoring and security systems.

**The research objective.** Our goal is to point out the possibilities of deploying IoT technology on devices that do not primarily contain this technology and to point out that it is not a problem to modernize any older device to meet current monitoring trends. The benefits of these technologies are far greater than the costs involved. Our goal was to create the security of the heat exchanger station. The intention was to apply security elements, such as monitoring the required parameters, using the cloud platform to store the monitoring data, evaluating the data and the very security of our object. Another goal is to contribute to the teaching of modern monitoring and security systems and thus prepare students for the current requirements of industries.

**The statement of basic materials.** Our goal was to design a system that had the task of monitoring the parameters of the heat exchanger station and based on them to ensure its functionality, to prevent failures of the heat exchanger station, which could cause damage. The aim was also to design the security of the room against unwanted entry of a stranger.

The proposed system monitors the inlet temperature of the outer circuit and the outlet temperature of the inner circuit. The system also monitors the pressure in the pipe that leads the water to the station. In the event of low inlet pressure, the pump would switch off to prevent idling. These monitoring parameters relate directly to the heat exchanger station.

Indirect effects on the exchanger station are monitoring by several sensors. Water detection sensors were used to secure the room against flooding. In an emergency like a major flood, the system can start a pump that drains the water. The purpose of the smoke detector is to warn on the presence of smoke or fire.

The power failure sensor is used to switch the power supply of the exchanger station to a backup source.

In terms of securing of the object against unwanted entry, motion sensors were designed and the entrance door was secured with a coded lock.

The whole system is connected to the cloud, thanks to which the operator is notified of the status of the heat exchanger station. The operator can remotely control the monitoring and security system of the heat exchanger station.

In the first step of solving the task, we created a flowchart of the proposal system based on the selected parameters. In (Fig. 1) we can see an example of a part of the flowchart describing the security of the object.

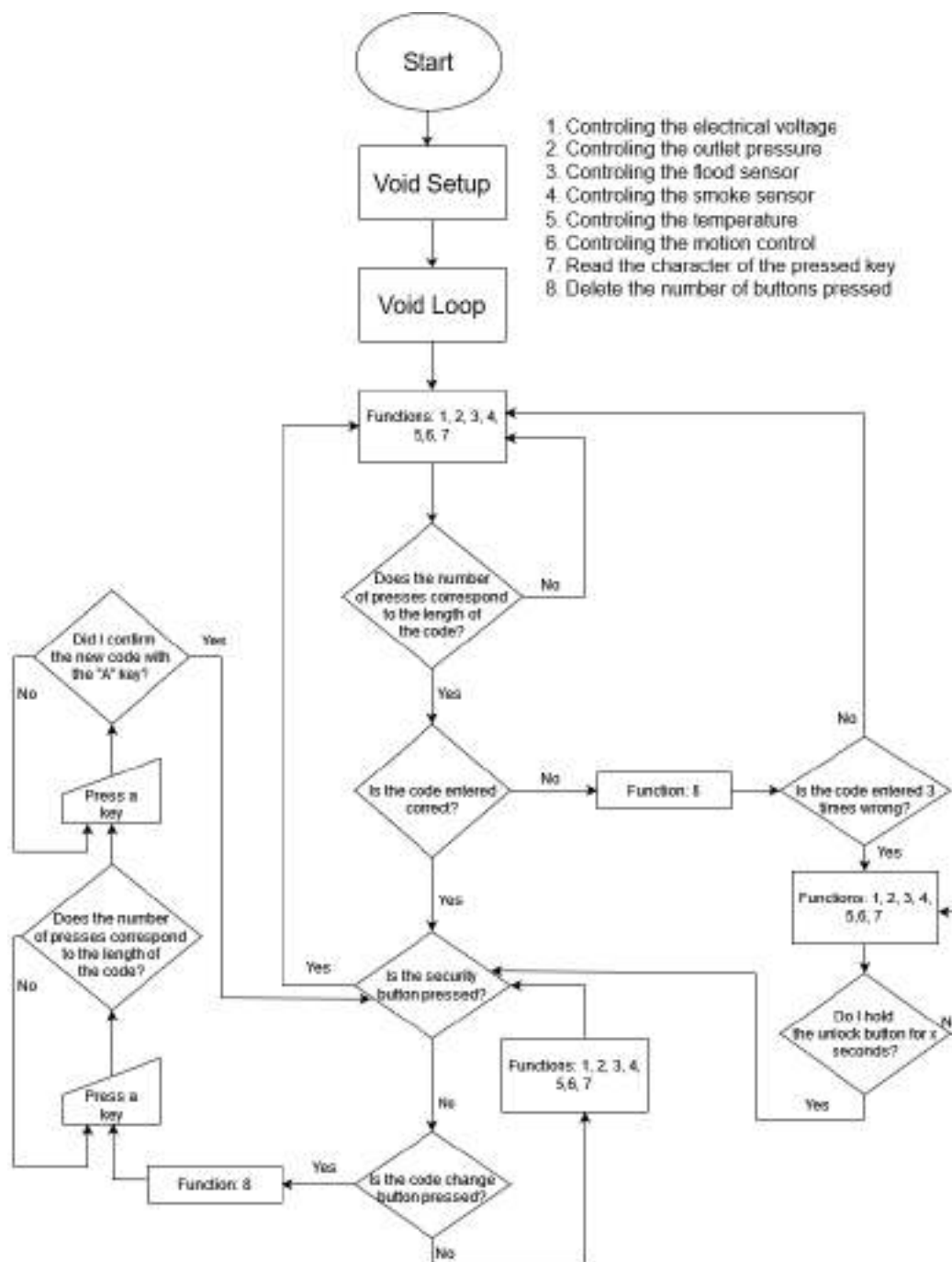
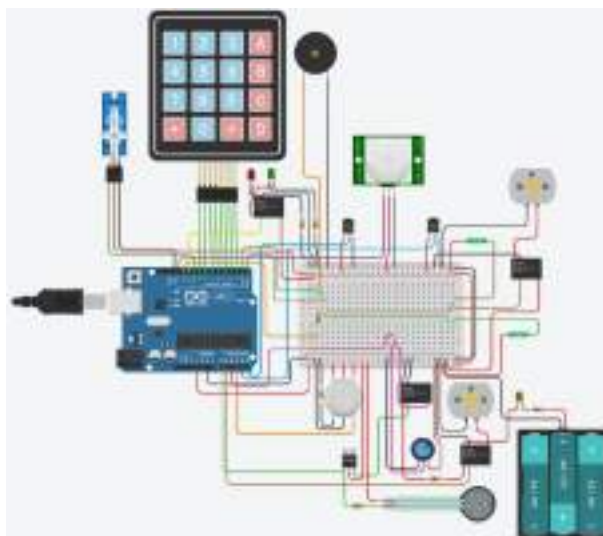


Fig. 1. Flowchart of the security part

Based on the resulting flowchart, we created a simulation solution for the entire system, which was made in the Tinkercad environment. The connection of our simulation solution is shown in (Fig. 2). Components such as the servomotor, numeric keypad, light emitting diodes, speaker and PIR sensor take care of controlling the input and movement in the building. We assigned element control to the tilt sensor and the smoke sensor. The role of the tilt sensors is to start the drain pump and inform about the probable flooding in the building. We used TMP36 sensors for temperature sensing. We simulated the drop in electrical voltage or output pressure using a potentiometer and a force sensor.



*Fig. 2. Simulation solution*

The control software was created in the Arduino IDE environment. An example of the resulting code can be seen in (Fig. 3).

```

ESP32_Testing [ Arduino IDE ]
ESP32_Testing

// Pin definitions
#define INLET_TEMP_PIN 34
#define OUTLET_TEMP_PIN 35
#define POT_PIN 36
#define KEYPAD_PIN 37
#define LED_PIN 38
#define KEYPAD_PIN 39
#define KEYPAD_PIN 40
#define KEYPAD_PIN 41

// Variables
int inTemp = 0;
int outTemp = 0;
int potValue = 0;
int keypadValue = 0;
int ledState = 0;

// Keypad matrix
const char keypadMatrix[4][4] = {
  {'1', '2', '3', '4'},
  {'5', '6', '7', '8'},
  {'9', '0', '*', '#'},
  {'A', 'B', 'C', 'D'}
};

// Keypad object
Keypad keypad = Keypad(KeypadMatrix, KEYPAD_PIN);

// Potentiometer object
int potPin = POT_PIN;
int potValue = 0;

// LED object
int ledPin = LED_PIN;

// Setup function
void setup() {
  Serial.begin(115200);
  pinMode(INLET_TEMP_PIN, INPUT);
  pinMode(OUTLET_TEMP_PIN, INPUT);
  pinMode(POT_PIN, INPUT);
  pinMode(KEYPAD_PIN, INPUT);
  pinMode(LED_PIN, OUTPUT);
}

// Loop function
void loop() {
  // Read keypad
  keypadValue = keypad.getKey();

  // Read potentiometer
  potValue = analogRead(potPin);

  // Read temperature sensors
  inTemp = digitalRead(INLET_TEMP_PIN);
  outTemp = digitalRead(OUTLET_TEMP_PIN);

  // Control LED
  if (keypadValue == '1') {
    ledState = !ledState;
  }

  // Print data to serial
  Serial.print("Inlet Temp: ");
  Serial.print(inTemp);
  Serial.print(" Outlet Temp: ");
  Serial.print(outTemp);
  Serial.print(" Pot Value: ");
  Serial.print(potValue);
  Serial.print(" Keypad Value: ");
  Serial.print(keypadValue);
  Serial.print(" LED State: ");
  Serial.print(ledState);
  Serial.println();
}

```

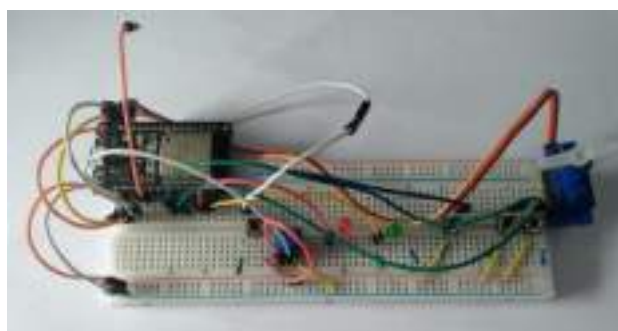
*Fig. 3. Example of the code*

We used hardware to test the function of the simulation solution. The system is primarily based on the Arduino UNO microcontroller, which meets the requirements for deployment to the system, but we created our test solution using the ESP32 DEVKIT V1 DOIT microcontroller, which we had available and considering its hardware and software capabilities offered us sufficient functions to verify the system. We connected this microcontroller to a breadboard, where we used the appropriate components and sensors (Fig. 4).

We used a thermistor and a potentiometer to simulate temperatures. By turning the potentiometer, we simulated fluctuations in the inlet temperature. Holding the thermistor in our hand increased the temperature and thus we simulated fluctuations in the outlet temperature. In this way, we verified the functionality of the thermistor and potentiometer as well as data acquisition. We used the



red and green light emitting diodes to simulate the security of the system. If the green LED is on, the system is unlocked, if the red LED is on, the system is secured or blocked. We used the serial monitor function in the Arduino IDE program to list system security status notifications. We used the buttons to unlock and lock the system. One button represents system security, the other button represents system unlocking. Another button was used to simulate entering an incorrect passcode. Attempts to re-enter the passcode were counted by pressing the button. Individual experiments were recorded again on a serial monitor. We also used the touch sensor option that the ESP32 has. We simulated the registration of smoke in the building with a touch sensor. We have programmed the code so that if there is a signal on the touch sensor for a certain period of seconds, an information message will be displayed, notifying us that it is burning in the building. The last button was used to simulate the on and off of the drain pump in case of flooding in the building. With this physical test element, we verified the basic functions of the simulated solution.



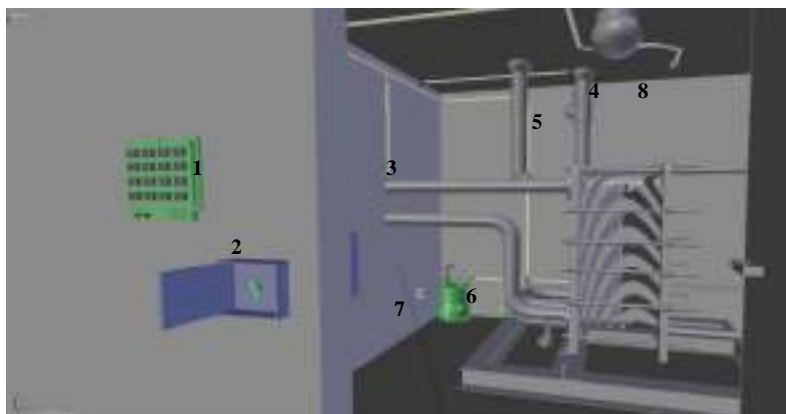
*Fig. 4. Testing of the proposed solution*

After verifying the functionality of the created solution, we proceeded to create a cloud part. We used the Blynk platform for the cloud environment. Two solutions have been developed. The first was to use a Blynk server. The second solution was built on our local server and thus we achieved higher security of the resulting solution. In Figure 5 we can see a part of Blynk app, which can be used to monitor the inlet and outlet temperature of the system. The solution includes an "Unlock" button that allows you to unlock the room remotely.



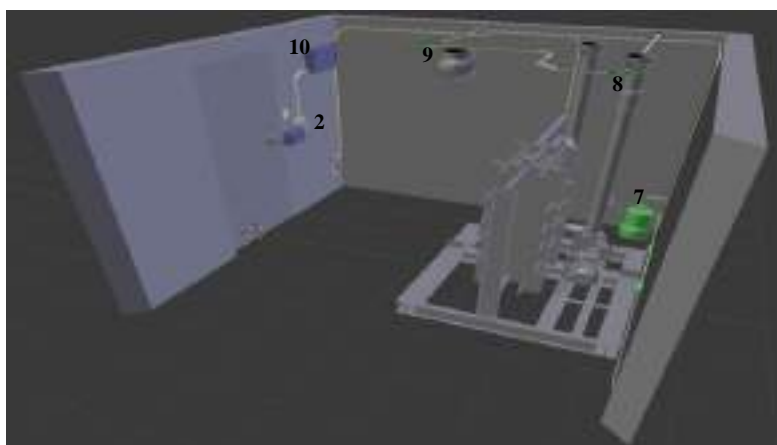
*Fig. 5. Monitoring Blynk app*

In the next step, we proceeded to create a 3D visualization of the room of the heat exchanger station together with the proposed monitoring system. Thanks to which we gained an overview of the location of individual components. The 3D visualization was created in Blender. All designed components of the monitoring system are marked in green. We marked the cabinets in which our components are located with blue. The rails in which we laid the cables are yellow. The resulting visualization can be seen in (Fig. 6 and Fig. 7) [12].



*Fig. 6. Visualization of the solution, view 1*

*(1 – numeric keypad, 2 – emergency door opening, 3 – inlet temperature sensor, 4 – outlet temperature sensor, 5 – pressure sensor, 6 – flood sensor, 7 – drain pump, 8 – smoke sensor)*



*Fig. 7. Visualization of the solution, view 2*

*(2 – emergency door opening, 7 – drain pump, 8 – smoke sensor, 9 – motion sensor, 10 – box with control unit)*

**Conclusions.** Based on the created simulations and visualizations, the entire proposed system was debugged, thanks to which the full functionality of the proposed solution was achieved. In the next phase, the system will be deployed on the real heat exchanger station. The following findings will be used to further optimise and supplement other system features. The result will be a sufficiently functional, inexpensive monitoring system of the heat exchanger station, which can be deployed in practice.

The result of the research is the creation of an IoT monitoring system on an object that does not contain such functionality. Based on this solution, it was confirmed that it is possible to innovate "obsolete" equipment to meet current monitoring trends. Another benefit obtained from the research is that the knowledge will be used in the teaching process of students focused on modern monitoring systems.

**Acknowledgement.** This work has been supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19.

### References

1. IoT and Node.JS: How to Catch the Opportunity?? (2021). <https://dzone.com/articles/iot-and-nodejs-how-to-catch-the-opportunity/>.
2. Ullo, S. L., Sinha, G. R. (2020). Advances in Smart Environment Monitoring Systems Using IoT and Sensors. *Sensors*, 20, 3113. doi:10.3390/s20113113 [in English].

3. Hafeez, G., Wadud, Z. (2020). Efficient Energy Management of IoT-Enabled Smart Homes Under Price-Based Demand Response Program in Smart Grid. *Sensors*, 20, 3155. doi:10.3390/s20113155 [in English].
4. Casola, V., De Benedictis, A. (2019). A security monitoring system for internet of things. *Internet of Things*, 7, 100080, Elsevier, 153. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.10.0080>.
5. Jabbar, W., Wei, Ch. (2021). An IoT Raspberry Pi-based parking management system for smart campus. *Internet of Things*, 14, 100387. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100387>.
6. Rákay, R., Galajdová, A. (2020). Testing properties of smart condition monitoring system, In: Technical Sciences and Technologies. *Chernihiv National University of Technology*, 21, 3, 266-273.
7. Adhikari, M., Munusamy, A. (2021). iCovidCare: Intelligent health monitoring framework for COVID-19 using ensemble random forest in edge networks. *Internet of Things*, 14, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100385>.
8. Pillai, A., Chandraprasad, G. (2021). A service oriented IoT architecture for disaster preparedness and forecasting system. *Internet of Things*, 14, 100076. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2019.10.0076> [in English].
9. Wall, D., McCullagh, P. (2021). Development of an Internet of Things solution to monitor and analyse indoor air quality. *Internet of Things*, 14, 100392. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2021.100392>.
10. Amper Technologies (2021). <https://www.amper.xyz/>.
11. Axzon (2021). Retrieved from <https://axzon.com/>.
12. Strnisko, P. (2021). Monitorovanie zabezpečenia objektu na báze arduino s prepojením na cloud, Košice 2021, 78.

Отримано 18.08.2021

УДК 621.5.045

### Патрік Шарга<sup>1</sup>, Патрік Стрніско<sup>2</sup>

<sup>1</sup>доктор технічних наук, доцент кафедри автоматизації та взаємодій людини-машини  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [patrik.sarga@tuke.sk](mailto:patrik.sarga@tuke.sk). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5566-8871>

<sup>2</sup>Student of Mechanical Engineering, Faculty of Mechanical Engineering  
Технічний університет Кошице (Кошице, Словаччина)

**E-mail:** [patrik.strnisko@student.tuke.sk](mailto:patrik.strnisko@student.tuke.sk)

## ПРОПОЗИЦІЯ МОНІТОРИНГУ ТЕПЛООБМІННОЇ СТАНЦІЇ

Нині є значна тенденція у використанні технології IoT з хмарним з'єднанням. Таке розгортання здійснюється з різних причин, таких як підвищення ефективності виробництва - економічні, моніторинг забруднення - навколишнє середовище, моніторинг здоров'я - медичне, моніторинг погоди - сільське господарство, моніторинг руху - транспорт тощо. Дані, отримані за допомогою технології IoT, потім обробляються та базуються на них ми можемо передбачити подальший розвиток параметрів, що контролюються. За оцінками, до 2025 року у світі буде приблизно 75,44 млрд пристроїв Інтернету речей.

Метою дослідження було створити недорогу систему моніторингу та захисту теплообмінної станції.

Технологія IoT використовується в різних областях, про що свідчать публікації. Конкретні рішення, що використовуються в промисловості, пропонуються, наприклад, компаніями Amper Technologies або Axzon. Система Amper Technologies та їхня заводська ОС ефективно використовують датчики для покращення виробничого процесу. Датчики реєструють ряд важливих аспектів, включаючи споживання енергії та простої, тому керівництво може краще планувати окремі процеси, зменшувати витрати та визначати зони зростання. Датчики Axzon забезпечують дані в режимі реального часу під час виробничого процесу в автомобільній промисловості, а їх технологія прогнозного обслуговування відстежує стан заводського обладнання, щоб запобігти відмовам та тривалим ремонтам.

Існуючі професійні рішення є економічно ефективними, і це може стати перевагою для їх втілення на практиці. Ця стаття має на меті сприяти розвитку доступних систем моніторингу та безпеки.

Наша мета - вказати на можливості розгортання технології IoT на пристроях, які в першу чергу не містять цієї технології, і зазначити, що модернізувати будь-які старіші пристрої з урахуванням сучасних тенденцій моніторингу не є проблемою. Переваги цих технологій набагато більші, ніж витрати.

Розроблено повністю функціональну недорогу систему моніторингу теплообмінників.

Випробування підтвердили повну функціональність системи моніторингу. На наступному етапі система буде введена в експлуатацію, а потім оптимізована.

**Ключові слова:** моніторинг; безпека; інтернет речей; хмара; Arduino.

Рис.: 7. Бібл.: 12.

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-244-255

УДК 621.311: 621.316.1

**Мирослав Сабат<sup>1</sup>, Владислав Лисяк<sup>2</sup>, Юрій Шелех<sup>3</sup>, Вадим Чечель<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики та систем управління  
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: [myroslav.b.sabat@lpnu.ua](mailto:myroslav.b.sabat@lpnu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7448-0615>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики та систем управління  
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: [vladyslav.h.lysiak@lpnu.ua](mailto:vladyslav.h.lysiak@lpnu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8371-6455>

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електроенергетики та систем управління  
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: [Yurii.L.Shelekh@lpnu.ua](mailto:Yurii.L.Shelekh@lpnu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0283-993X>

<sup>4</sup>здобувач вищої освіти

Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)

E-mail: [vadym.chechel.mec.2020@lpnu.ua](mailto:vadym.chechel.mec.2020@lpnu.ua)

## ВПЛИВ НЕСИНУСОЇДАЛЬНОСТІ НАПРУГИ НА РОБОТУ ВУЗЛА КОМПЛЕКСНОГО НАВАНТАЖЕННЯ З КОНДЕНСАТОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

*Збільшення кількості споживачів електричної енергії в системах електропостачання, до складу яких входять напівпровідникові перетворювачі (НП), зумовлює наявність вищих гармонік напруги (струму) та призводить до збільшення сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень як одного з визначальних показників якості електричної енергії. Вищі гармоніки напруги в електропостачальних мережах впливають на роботу систем автоматики, обчислювального обладнання, а також на роботу КУ.*

**Ключові слова:** несинусоїдальність; фільтрокомпенсуючі пристрої; конденсаторні установки; вузол навантаження; електропостачальна мережа; реактивна потужність.

Табл.: 1. Рис.: 20. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Збільшення кількості споживачів електричної енергії у вузлах систем електропостачання, до складу яких входять напівпровідникові перетворювачі (НП), призводить до появи в електропостачальних мережах вищих гармонік напруги (струму) та призводить до збільшення сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень, який є одним з визначальних показників якості електричної енергії. Вищі гармоніки напруги в електропостачальних мережах впливають, як на роботу систем автоматики, обчислювального обладнання, а також на роботу конденсаторних установок (КУ), так і на їх довговічність, та надійність. Дослідження впливу несинусоїдальності в електричних мережах на КУ є актуальною темою та дозволить оцінити умови роботи КУ з метою їх покращення

**Постановка проблеми.** Для виявлення негативного впливу вищих гармонік напруги на роботу КУ у вузлі комплексного навантаження необхідно дослідити значення основних показників режиму роботи за різного значення коефіцієнта несинусоїдальності напруги. Визначити вплив елементів вузла комплексного навантаження на гармонічний склад та коефіцієнт несинусоїдальності. Також необхідно розглянути основні методи та засоби захисту КУ від впливу вищих гармонік та ефект від їх застосування у вузлах комплексного навантаження з КУ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За нормативними документами України, які регламентують якість електричної енергії [4; 5; 6], допускається несинусоїдальність.

Для електропостачальних мереж напругою 0,4 кВ у випадку нормальної роботи допускається 95 % середньоквадратичних значень напруги кожної гармоніки, впродовж тижневого періоду [7]. Середньоквадратичні значення напруги не повинні перевищувати наведених у табл. 1.

Таблиця 1

*Допустимі середньоквадратичні значення напруги кожної гармоніки*

Непарні гармоніки				Парні гармоніки	
не кратні 3		кратні 3		відносна амплітуда, %	порядок гармоніки
відносна амплітуда, %	порядок гармоніки	відносна амплітуда, %	порядок гармоніки		
6,0	5	5,0	3	2,0	2
5,0	7	1,5	9	1,0	4
3,5	11	1,5	15	0,5	6...24
3,0	13	0,5	21	-	-
2,0	17	-	-	-	-
1,5	19	-	-	-	-
1,5	23	-	-	-	-
1,5	25	-	-	-	-

Сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) напруги електропостачання, враховуючи всі гармоніки до 40-ї включно повинен бути меншим чи рівним 8 % [7].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У переважній більшості досліджень показники якості електричної енергії розглядаються стосовно споживача, а не елементів вузла навантаження чи електропостачальної мережі. Вплив несинусоїдальності на роботу КУ, а також вплив складу вузла комплексного навантаження на коефіцієнт несинусоїдальності досліджено недостатньо.

**Метою статті** є аналіз впливу несинусоїдальності напруги на роботу елементів комплексного вузла навантаження та на вузол в цілому, виявлення негативного впливу вищих гармонік напруги на роботу КУ у вузлі навантаження та дослідження основних показників режиму роботи вузла навантаження за різного значення сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень.

**Виклад основного матеріалу.** Для якісної оцінки впливу вищих гармонік на роботу КУ запропоновано порівняння параметрів режиму роботи КУ у вузлі навантаження за умов наявності та відсутності джерела вищих гармонік. Для проведення дослідів запропонована фізична модель, схема якої зображена на рис. 1.

Джерелом вищих гармонік слугує випростувач. Величину гармонік можна регулювати, змінюючи активний опір в колі постійного струму випростувача. Для оцінки впливу індуктивності у колі навантаження послідовно з активним опором увімкнений дросель. У схемі передбачений ключ, за допомогою якого можна шунтувати дросель.

Для управління ступенями регульованої КБ у схемі задіяний регулятор реактивної потужності від компанії “Schneider Electric” – “Varlogic NR6”.

Схема підключення пристрою передбачає підведення до нього лінійної напруги будь-яких двох фаз, і підключення трансформатора струму з номінальним вторинним струмом 5 А у третю (незалежну) фазу (друга схема, якщо амплітуда фазної напруги не більше 200 В). У нашому випадку живлення подається автоматичним вимикачем АВ-5 з фаз А і В. У фазі С встановлений трансформатор струму 40/5 А. З фази А живлення подається на загальний контакт ”С” регулятора. З кожного виходу регулятора напруга поступає на початок котушки відповідного контактора. Кінці в свою чергу з’єднані між собою і підключені до нульового провідника. Таким чином забезпечується коло протікання струму для всіх контакторів.

Перша та друга ступені малопотужні, тому підключені до шин через звичайні контактори. Усі інші ступені, а саме 2, 3 та 4 під’єднанні через спеціалізовані контактори, які оснащені блоком резисторів. Після подачі сигналу на увімкнення в такому контакторі включається послідовно спершу блок резисторів на час одного періоду, а тоді вже замикається контактна група. Таким чином досягається обмеження струмів у момент увімкнення, а вже наслідком – менш виразні явища комутації, такі як дуга чи іскріння. Також

послідовно з третьою КБ ввімкнений дросель потужністю 50 кВАР. Даний дросель служить для захисту конденсаторної батареї від впливу вищих гармонік, тобто слугує певним фільтром. Регулятор реактивної потужності визначає дійсний  $\cos \varphi$  мережі та порівнює його з заданим. Відповідно до налаштованої програми підбирає ступені компенсації.

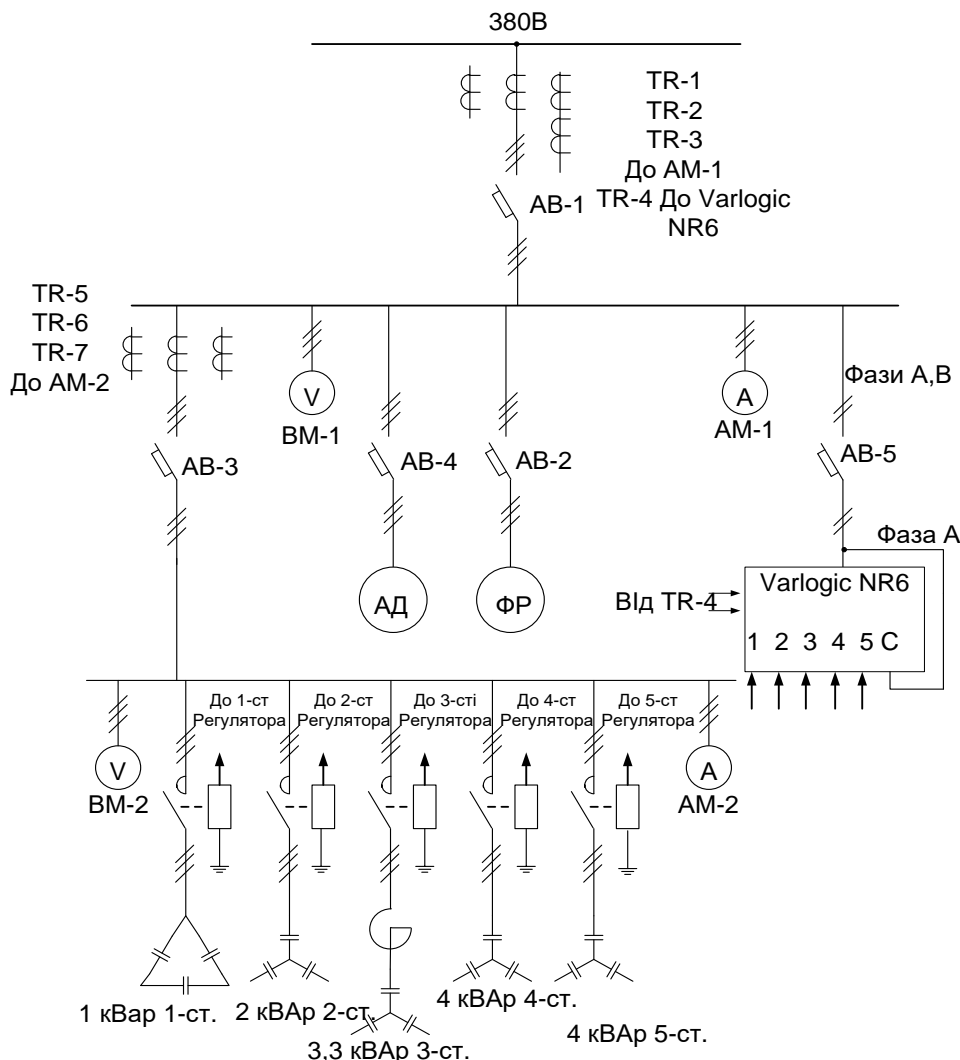


Рис. 1. Схема для зняття дослідних характеристик КУ

Для створення моделі вузла навантаження обраний найбільш поширений тип навантаження – асинхронний двигун з індуктивно-активним характером. Асинхронний двигун в даному вузлі комутується за допомогою автоматичного вимикача (AB-4). Оскільки потужність двигуна не є великою, паралельно йому ввімкнутий фазорегулятор.

У цій схемі вторинна обмотка фазорегулятора закорочена, що дає індуктивний характер навантаження. Мінімальне значення встановленого індуктивного навантаження становить 5 кВАР. Тобто, можливі варіанти навантаження: увімкнення лише одного АД потужністю 1,5 кВт, увімкнення тільки ФР, потужністю в межах від 5 до 17 кВАР, або ж їх паралельна робота.

Для реєстрації сигналів та зняття осцилограм та гістограм було використано систему реєстрації та аналізу аварійних ситуацій електроенергетичних об'єктів "альтра-1" однією з функцій якої є: аналізу координат усталених режимів та аварійних процесів визначення максимальних значень, визначення зміни в часі діючих значень, симетричних складових, гармонічного складу координат режимів, визначення віддалі до місця пошкодження на лініях електропередач, синтезу координат режимів тощо.

Основні характеристики та схеми підключення наведені в інструкції до цієї системи. У роботі система підключалась до системи шин.

**Результати досліджень.** Розглянемо та проведемо аналіз деяких режимів роботи досліджуваного вузла навантаження з конденсаторною батареєю та без конденсаторної батареї (рис. 2 та 3).

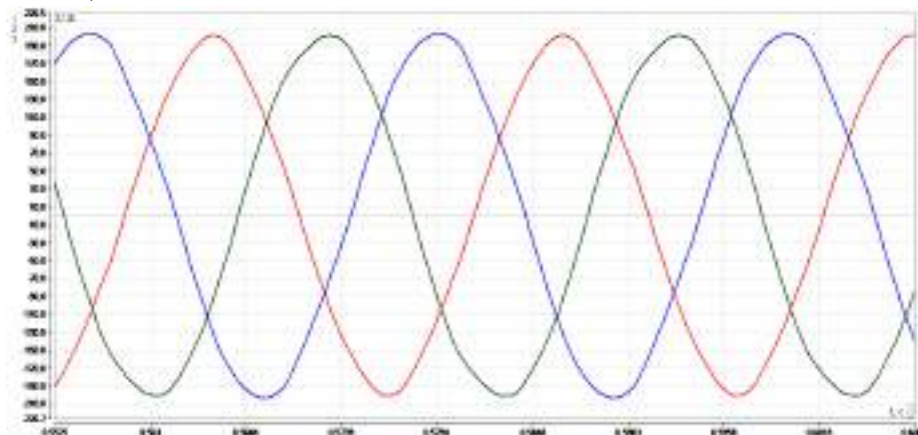


Рис. 2. Осцилограми напруги при увімкненому активно-індуктивному навантаженні

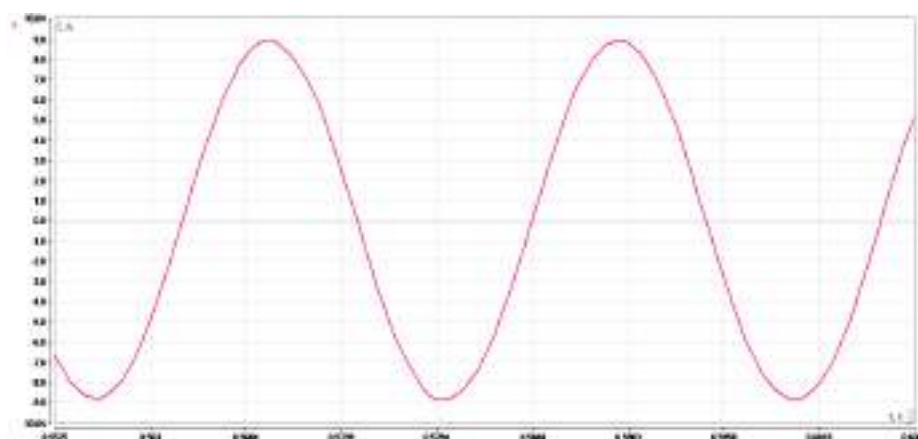


Рис. 3. Осцилограма струму активно-індуктивного навантаження

Як видно із поданих вище осцилограм, це нормальний режим роботи мережі без конденсаторної батареї та джерела вищих гармонік. Після увімкнення випростувача на осцилограмах напруги та струму (рис. 4 і 5) спостерігається викривлення синусоїдності напруги.

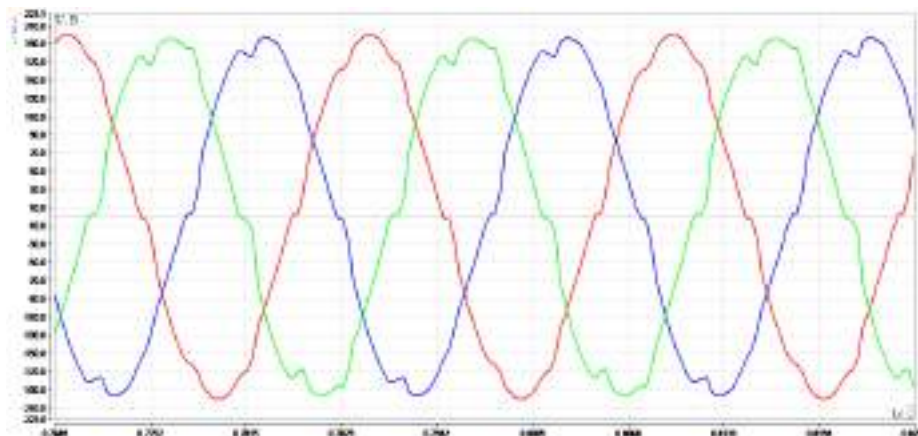


Рис. 4. Криві фазних напруг при увімкненому активно-індуктивному навантаженні та випростувачі (струм у колі випростувача 0,9 А+ дросель у колі пост. струму)

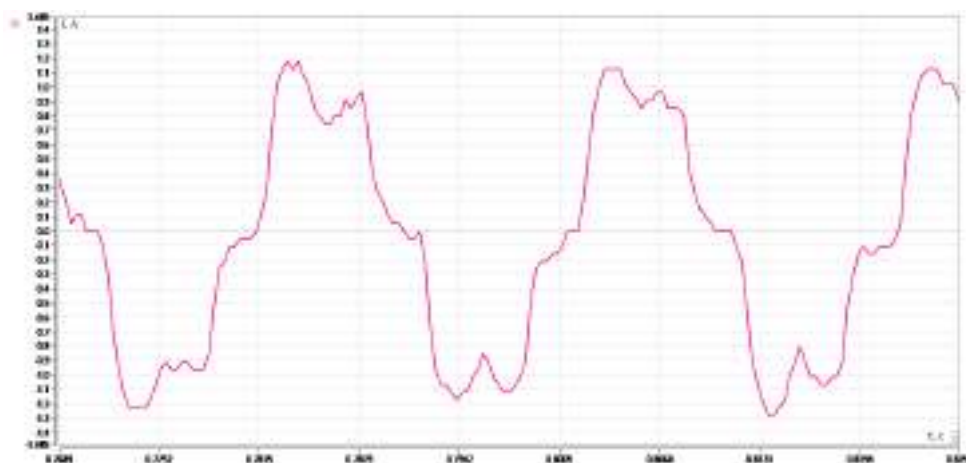


Рис. 5. Струм у колі випростувача

Порівняємо цей режим з таким же, за додатково увімкненої конденсаторної батареї (рис. 6 і 7).

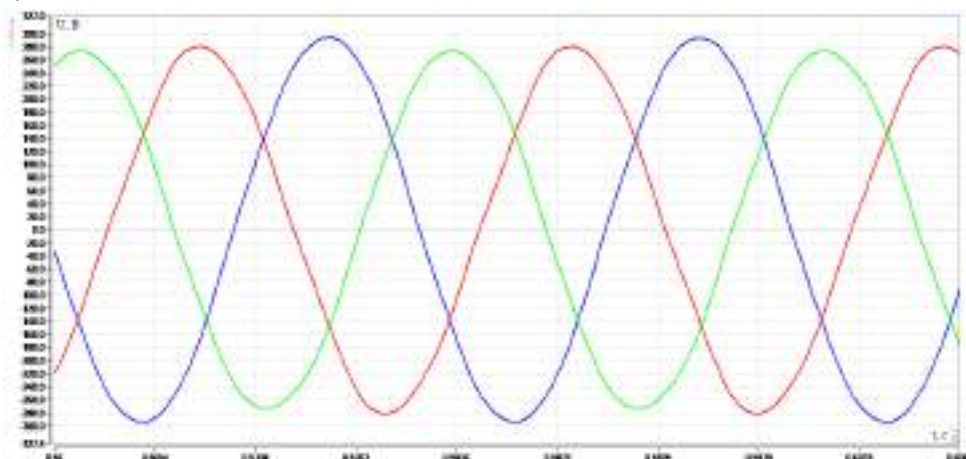


Рис. 6. Криві напруг при увімкненому активно-індуктивному навантаженні, випростувачі та КБ (струм в колі випростувача 1,26 А+ дросель у колі пост. струму)

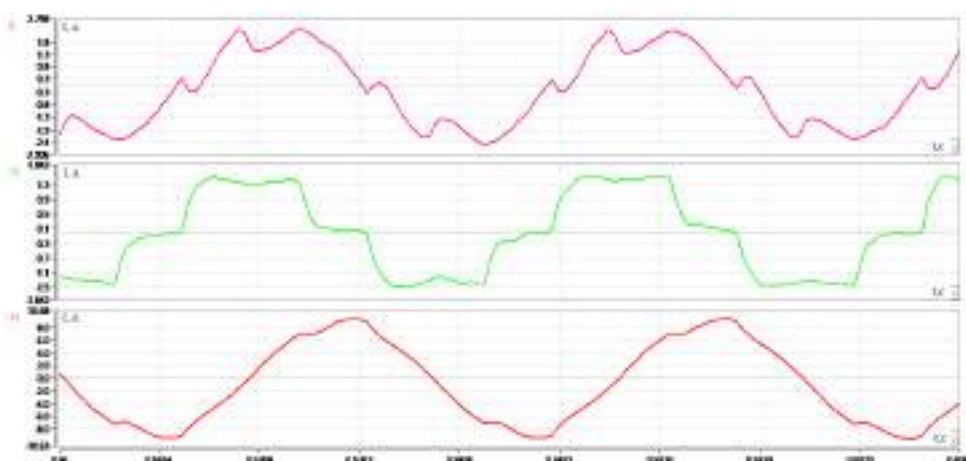


Рис. 7. Криві струму у схемі з активно-індуктивним навантаженням, випростувачем та КБ (рожевий - загальний струм вузла, зелений – струм випростувача, червоний – струм КБ)

Збільшуємо струм в колі випростувача, тим самим підіймаємо рівень вищих гармонік у мережі та проводимо аналогічні дослідження (рис. 8 та 9).



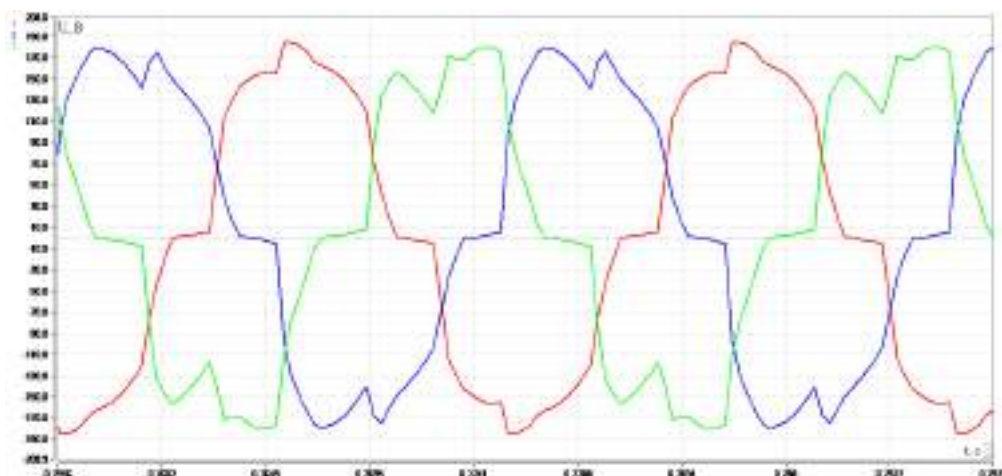


Рис. 8. Криві напруг при ввімкненому індуктивному навантаженні та випростувачі (струм у колі випростувача 4.53 А+ без дроселя у колі пост. струму)

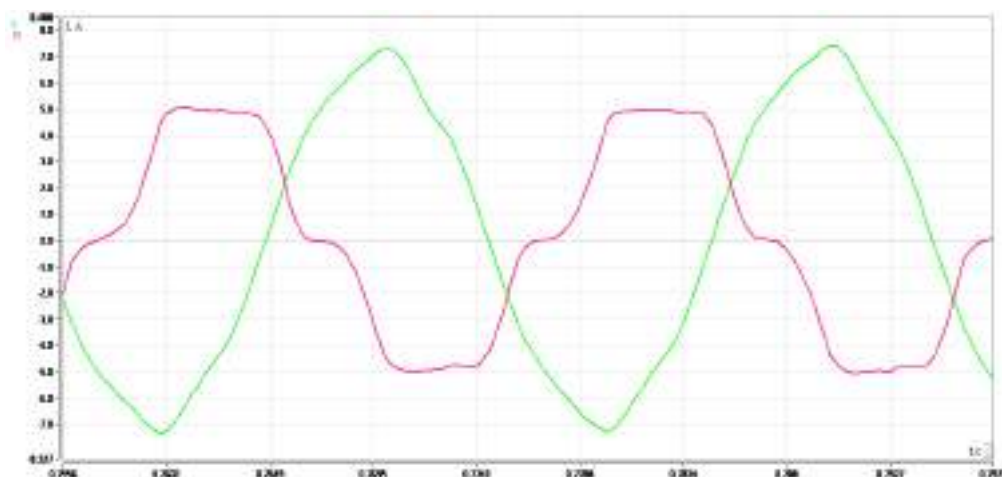


Рис. 9. Криві струму (зелений – струм в активно індуктивному навантаженні, рожевий – струм у колі випростувача)

Такий режим спотворює криві напруги, несинусоїдальність складає близько 10 % (рис. 10).

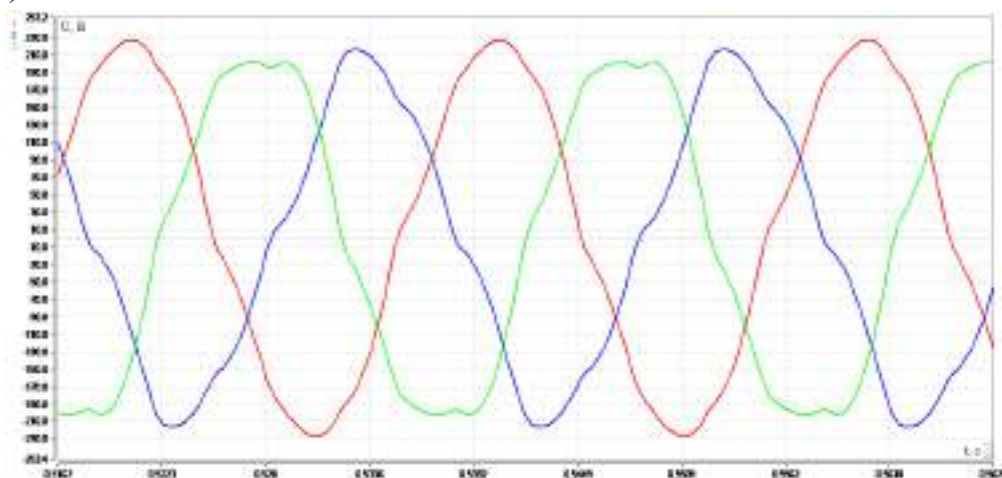


Рис. 10. Криві напруг при ввімкненому індуктивному навантаженні, випростувачі та КБ (струм в колі випростувача 5.7 А+ дросель у колі пост. струму)

З представлених вище кривих напруг та струмів робимо висновок, що наявність у мережі конденсаторних установок позитивно впливає на форму кривої напруги (рис. 10), але значно погіршує синусоїдність кривої струму (рис. 11) конденсаторної установки, що негативно впливає на їх роботу, та зменшує термін їх експлуатації.

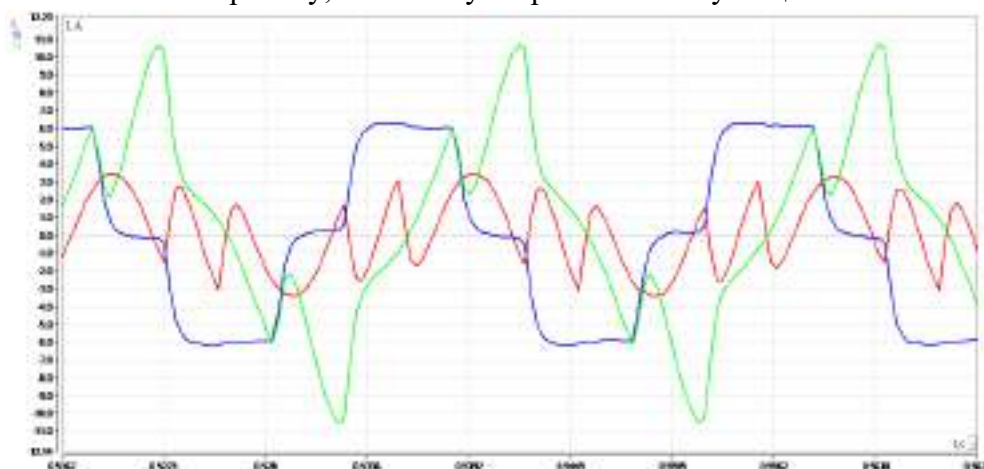


Рис. 11. Криві струму (червоний – загальний струм вузла, синій – струм випростувача, зелений – струм КБ)

На основі вимірів побудовані такі графіки залежностей:

а) сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) та величини гармонік від струму у колі випростувача без КБ (дросель у колі постійного струму ввімкнений) (рис. 12):

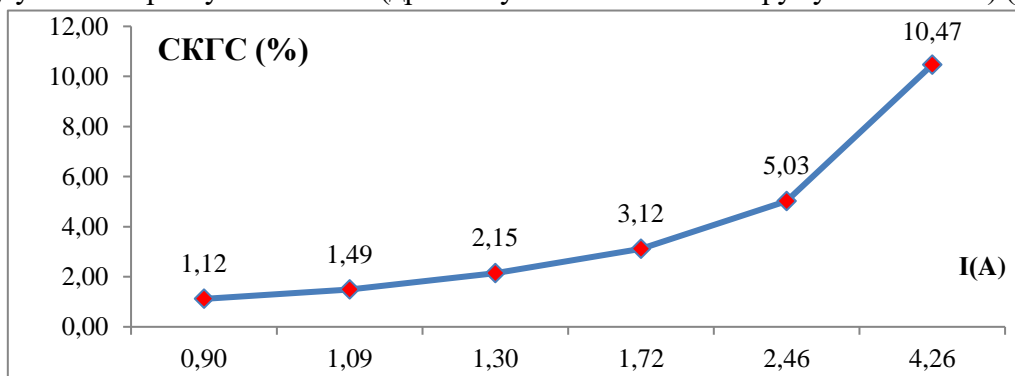


Рис. 12. Залежність рівня вищих гармонік від струму в колі випростувача (без КБ, дросель ввімкнений)

б) сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) та величини гармонік від струму у колі випростувача без КБ (дросель у колі постійного струму вимкнений) (рис. 13):

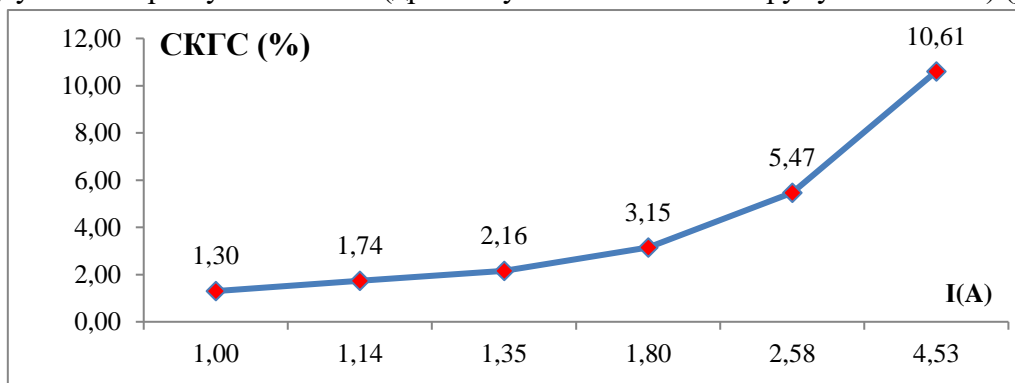


Рис. 13. Залежність рівня вищих гармонік від струму в колі випростувача (без КБ, дросель вимкнений)

в) сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) та величини гармонік від струму у колі випростувача з КБ (дросель у колі постійного струму ввімкнений) (рис. 14):

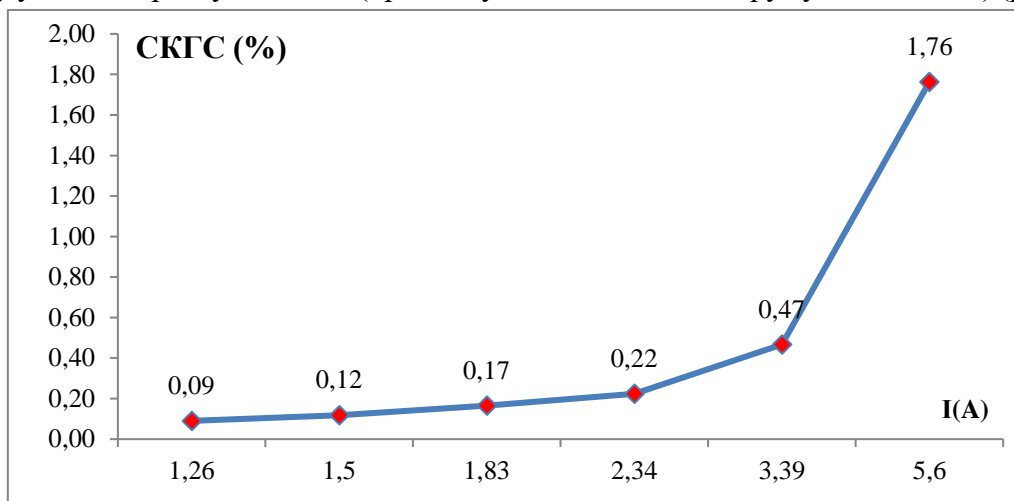


Рис. 14. Залежність рівня вищих гармонік від струму в колі випростувача (з КБ, дросель ввімкнений)

г) сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) та величини гармонік від струму в колі випростувача з КБ (дросель у колі постійного струму вимкнений) (рис. 15):

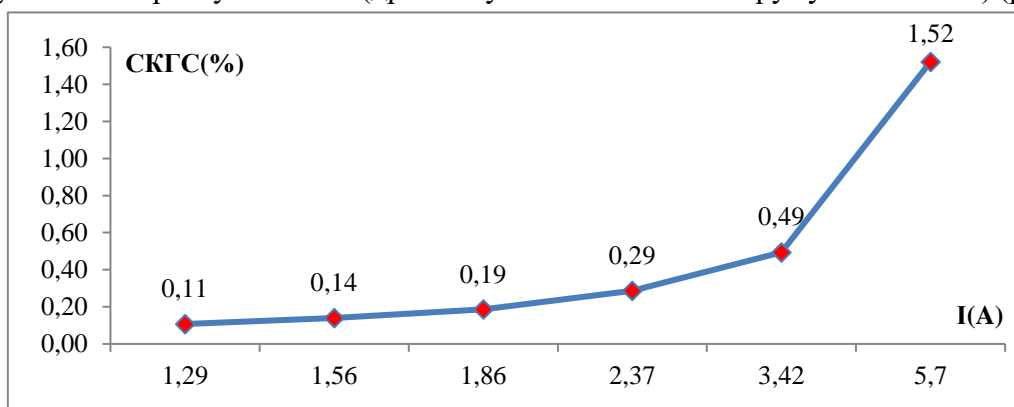


Рис. 15. Залежність рівня вищих гармонік від струму в колі випростувача (з КБ, дросель вимкнений)

З вищенаведених залежностей випливає, що індуктивність у колі постійного струму мінімально, але все ж зменшує рівень гармонік, що генеруються у трифазну мережу випростувачем.

**Способи зменшення гармонік.** Зменшення сумарного коефіцієнта гармонічних спотворень можна досягнути кількома способами. Одним із таких способів є побудова раціональної системи електропостачання споживачів, таким чином, щоб коефіцієнт гармонічних спотворень знаходився в допустимих межах, чи застосування схем нелінійних навантажень. Ще одним зі способів є запобігання генеруванню складових напруги  $i$ -тих гармонік, окремими споживачами. Але не завжди такі заходи є дієві чи можливими для впровадження. У випадку, коли неможливо зменшити гармоніки конструктивними засобами, застосовують пристрій, здатний запобігати їх розповсюдженню в електроенергетичній системі, а саме – фільтр вищих гармонік.

Для дослідження роботи фільтра вищих гармонік були зібрані схеми, що зображенні на рис. 16.

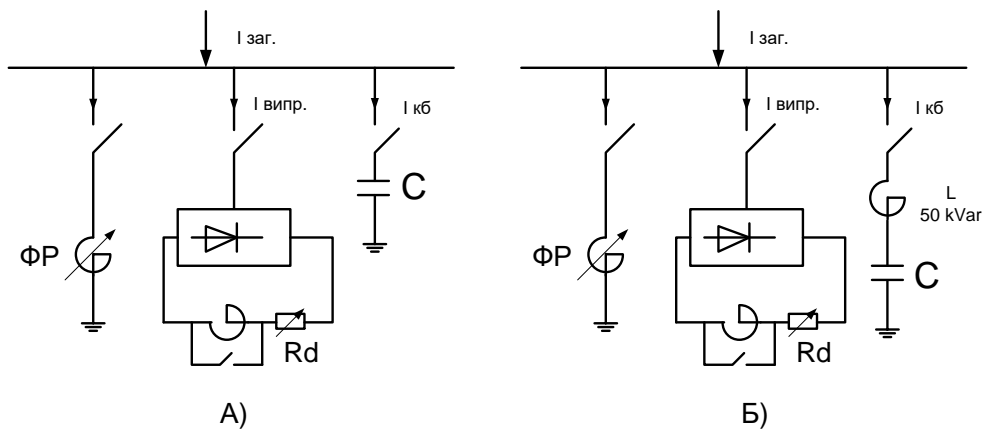


Рис. 16. Схеми для зняття дослідних характеристик впливу вищих гармонік на конденсаторну установку:  
а – не захищена фільтрами; б – захищена фільтрами

Розраховуємо частоту, яку фільтруватиме дросель у схемі Б. Конденсаторна батарея з'єднана у трикутник, ємність конденсаторів у фазі рівна 48 мікрофарад. Отже:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 * 3,14 * 50 * 48 * 10^{-6}} = 22,1 \text{ Ом}, \quad (1)$$

де  $\pi$  – математична константа, яка дорівнює 3,14;  
 $f$  – стандарт частоти, який дорівнює 50 Гц;  
 $C$  – ємність конденсаторів.

Індуктивність трифазного дроселя згідно його паспорту становить 0,76 мГн. Індуктивний опір становить:

$$X_L = 2\pi f L = 2 * 3,14 * 50 * 0,76 * 10^{-3} = 0,23 \text{ Ом}, \quad (2)$$

де  $\pi$  – математична константа, яка дорівнює 3,14;  
 $f$  – стандарт частоти, який дорівнює 50 Гц;  
 $L$  – індуктивність трифазного дроселя.

Знайдемо частоту на яку буде налаштований фільтр.

$$f = \sqrt{\frac{f_{\text{мережі}}^2}{X_L/X_c}} = \sqrt{\frac{50^2}{\frac{0,23}{22,1}}} = 490,3 \text{ Гц}, \quad (3)$$

де  $X_L$  – індуктивний опір;  
 $X_c$  – частота, яку фільтруватиме дросель у схемі Б;  
 $f_{\text{мережі}}$  – частота мережі.

Отже, фільтр налаштований на фільтрацію 10 гармоніки і вище.

Знімаємо характеристики установки без фільтруючого дроселя (рис. 17 і 18).

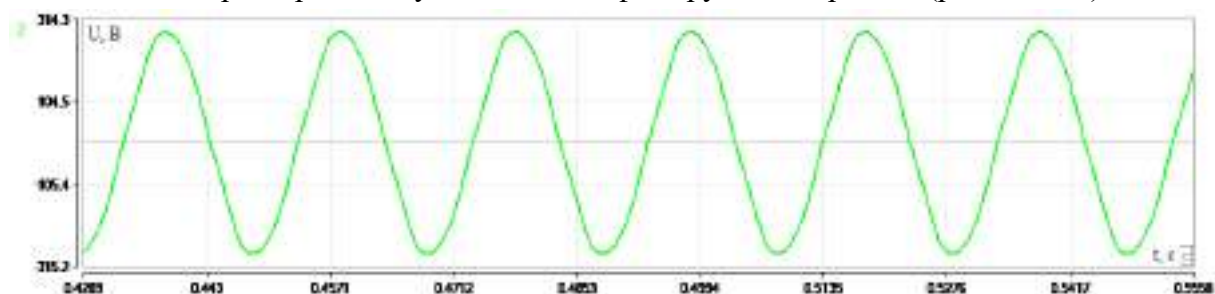


Рис. 17. Графік синусоїди у вузлі навантаження (конденсаторна батарея без фільтра)

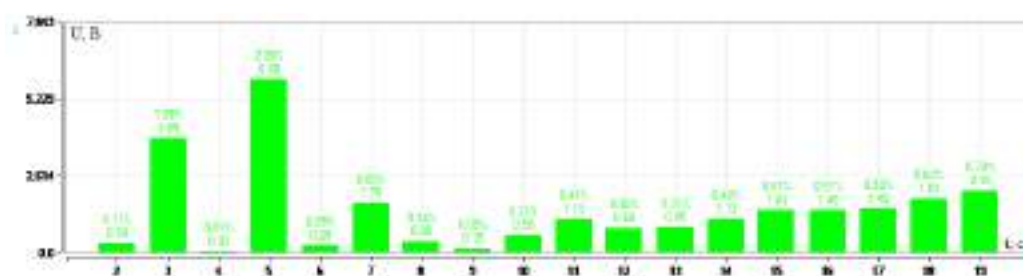


Рис. 18. Гістограма гармонік напруги (конденсаторна батарея без фільтра)

Знімаємо характеристики установки з фільтруючим дроселем (рис. 19, 20).

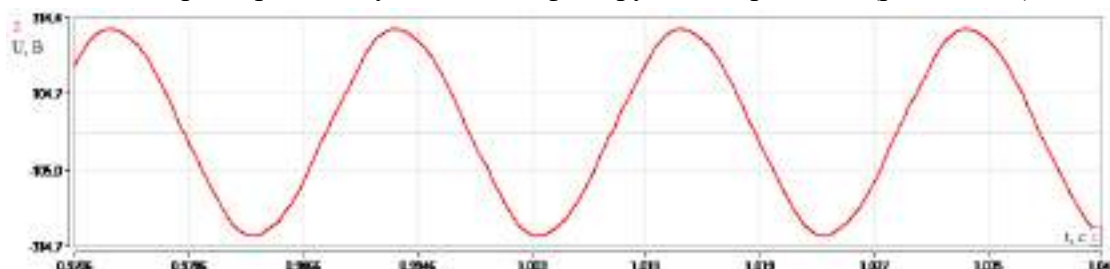


Рис. 19. Графік синусоїди у вузлі навантаження (конденсаторна батарея з фільтром)



Рис. 20. Гістограма гармонік напруги (конденсаторна батарея з фільтром)

Як видно з гістограм гармонік напруги, фільтр виконує свої функції – 10-а гармоніка зменшилась у сім разів, 11-а – у чотири рази, 13-а – майже у дев'ять разів.

**Висновки.** 1. Наявність у мережі конденсаторних установок позитивно впливає на форму кривої напруги, але значно погіршує синусоїдність кривої струму конденсаторної установки, що, у свою чергу, негативно впливає на їхню роботу конденсаторної установки, та зменшує термін їх експлуатації.

2. Наявність індуктивності в колі постійного струму мінімально, але все ж зменшує рівень гармонік що генеруються у трифазну мережу випростувачем.

3. Використання фільтрів у вузлах із конденсаторними батареями значно зменшує гармоніки у вузлах навантаження, покращує якість електричної енергії та підвищує термін експлуатації конденсаторних батарей.

### Список використаних джерел

1. Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, С. П. Денисюк // Технічна електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44-50.

2. Жаркін А. Ф. Гібридні фільтрокомпенсуючі перетворювачі для трифазних систем з нелінійними та змінними навантаженнями / А. Ф. Жаркін, В. О. Новський, Д. О. Малахатка // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 4. – С. 48-52.

3. Стратегія мінімізації небажаних складових миттєвої потужності із застосуванням різних топологій паралельних активних фільтрів / В. М. Михальський, В. М. Соколов, В. В. Чопик, І. А. Шаповал // Технічна електродинаміка. – 2014. – № 1. – С. 41-51.

4. Кодекс систем розподілу : Постанова НКРЕКП від 14.03.2018 № 310.
5. Електрична енергія. Норми якості електричної енергії у системах електропостачання загального призначення: ГОСТ 13109-97. – [Введ.01.01.2000]. – К.: Вир-во стандартів, 1998; Держстанд. України, с доп. і попр., 1999. – 31 с.
6. Про затвердження Порядку забезпечення стандартів якості електропостачання та надання компенсацій споживачам за їх недотримання : Постанова № 375 від 12.06.2018.
7. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). – [Чинний з 1.10.2014]. – К.: Держстандарт України, 2014. – 27 с.

### References

1. Stohnii, B.S., Kyrylenko, O.V., Denysiuk, S.P. (2010). Intelektualni elektrychni merezhi elektroenerhetychnykh system ta yikhnie tekhnolohichne zabezpechennia [Smart electrical grids of power systems and their technological support]. *Tekhnichna Elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, (6), 44-50.
2. Zharkin, A.F., Novskiy, D.O., Malakhatka, D.O. (2015). Hibrydni filtrokompensuiuchi peretvoriuvachi dlia tryfaznykh system z nelineinymy ta zminnymy navantazhenniamy [Hybrid filter-compensating converters for the three-phase systems with nonlinear and variable loads]. *Tekhnichna Elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, (4), 48-52.
3. Mykhalskyi, V.M., Sobolev, V.M., Chopyk, V.V., Shapoval, I.A. (2014). Stratehiia minimizatsii nebazhanykh skladovykh myttievoi potuzhnosti iz zastosuvanniam riznykh topolohii paralelnykh aktyvnykh filtriv [The minimization strategy of undesirable instantaneous power components with different topologies of shunt active filter]. *Tekhnichna Elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, (1), 41-51
4. Kodeks system rozpodilu [Distribution Systems Code], Decree NKREKP № 310 (14.03.2018).
5. Elektrychna enerhiia. Normy yakosti elektrychnoi enerhii u systemakh elektropostachannia zahalnoho pryznachennia [Electric energy. Quality standards of electric energy in general purpose power supply systems] (HOST 13109-97). Vyr-vo standartiv.
6. Pro zatverdzhennia Poriadku zabezpechennia standartiv yakosti elektropostachannia ta nadannia kompensatsii spozhyvacham za yikh nedotrymannia [About the statement of the Order of maintenance of standards of quality of power supply and granting of compensations to consumers for their non-observance], Decree № 375 (12.06.2018).
7. Kharakterystyky napruhy elektropostachannia v elektrychnykh merezhakh zahalnoi pryznachenosti [Characteristics of power supply voltage in general purpose electrical networks]: DSTU EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). Derzhstandart Ukrainy.

Отримано 05.06.2021

UDC 621.311: 621.316.1

**Myroslav Sabat<sup>1</sup>, Vladyslav Lysiak<sup>2</sup>, Yurii Shelekh<sup>3</sup>, Vadym Chechel<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Power Engineering and Control Systems Department  
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: [myroslav.b.sabat@lpnu.ua](mailto:myroslav.b.sabat@lpnu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7448-0615>

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Power Engineering and Control Systems Department  
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: [vladyslav.h.lysiak@lpnu.ua](mailto:vladyslav.h.lysiak@lpnu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8371-6455>

<sup>3</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Power Engineering and Control Systems Department  
Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: [Yurii.L.Shelekh@lpnu.ua](mailto:Yurii.L.Shelekh@lpnu.ua). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0283-993X>

<sup>4</sup>Student of Power Engineering and Control Systems Department

Lviv Polytechnic National University (Lviv, Ukraine)

E-mail: [vadym.chechel.mee.2020@lpnu.ua](mailto:vadym.chechel.mee.2020@lpnu.ua)

## INFLUENCE OF NON-SINUSOIDAL VOLTAGE ON THE WORK OF COMPLEX LOAD WITH CAPACITOR INSTALLATIONS

Today, power supply system complex load nodes include a large number of consumers with different nature of load, different characteristics, etc., which increases the number of negative effects on the node, on the quality of electricity and on each individual consumer.

*An important element of such nodes of the power supply system are compensating installations of reactive power. The reliability of the entire network, the quality of electricity and power loss in the network depend on their reliable operation. The operation of such compensating installations is influenced by the operating conditions and electrical receivers of the network in which the compensating installations operate. In particular, the non-sinusoidal mains voltage has a significant impact on the operation of the compensating installations.*

*The increase in the number of electricity consumers in power supply systems, which include semiconductor converters, causes higher voltage harmonics (of the current) and leads to an increase in the coefficient of non-sinusoid (coefficient of curvature of the sinusoid of the voltage curve) as one of the determinants of the quality of electricity. Higher voltage harmonics in power supply networks affect the operation of automation systems, computer equipment, as well as the operation of compensating installations. The main method of improving the sinusoidal voltage in networks is the use of filter-compensating devices, the use of which requires a detailed study of network characteristics, determining the composition of existing harmonics and analysis of the possibility of new ones.*

*The study of the influence of non-sinusoidality in electrical networks on compensating installations is a topical issue and will allow to assess the working conditions of compensating installations in order to improve them.*

**Keywords:** *non-sinusoidality; filter-compensating devices; condenser installations; complex load node; power supply system; reactive power.*

*Table: 1. Fig.: 20. References: 7.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-256-264

УДК 621.316.11

**Вадим Бодунов<sup>1</sup>, Ігор Діхтярук<sup>2</sup>, Андрій Красножон<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [vad1979@ukr.net](mailto:vad1979@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2882-5787>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри електричної інженерії та інформаційно-вимірювальних технологій  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [dihtyaruk.ihor@gmail.com](mailto:dihtyaruk.ihor@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6565-6356>

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електричної інженерії  
та інформаційно-вимірювальних технологій

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**Email:** [red\\_john@ukr.net](mailto:red_john@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6215-7535>

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПІКОВИХ СТРУМІВ ПРИ ВКЛЮЧЕННІ СВІТЛОДІОДНИХ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА

*Включення блоків живлення, які зазвичай використовуються в однофазних електроприймачів з нелінійним навантаженням, супроводжується імпульсом струму, який може в декілька разів перевищувати струм спрацювання апаратів захисту і призводити до їх відключення. Збільшенням кількості офісних приміщень з комп'ютерним обладнанням, а також однофазних електроприймачів з нелінійним навантаженням або імпульсними блоками живлення, виникає проблема зниження ефективності електропостачання, яка полягає в некоректному спрацюванні захисних апаратів.*

**Ключові слова:** нелінійні приймачі електроенергії; математична модель; комутація; піковий струм; світлодіодне джерело світла.

*Рис.: 8. Бібл.:9.*

**Актуальність теми дослідження.** В наш час, зі стрімким збільшенням кількості офісних приміщень з комп'ютерним обладнанням, а також однофазних електроприймачів з нелінійним навантаженням та інших приймачів, наприклад, з імпульсними блоками живлення, виникає проблема зниження ефективності та погіршення якості електропостачання: некоректне спрацювання захисних апаратів в мережах освітлення, силових електричних мережах офісних будівель та приватному секторі, при роботі автоматичного вводу резерву чи автоматичного повторного включення.

Це пов'язано з тим, що з розвитком технологій зменшується встановлена потужність однофазних приймачів, що приводить до зменшення навантаження на одиничні внутрішньобудинкові електричні мережі. Внаслідок цього, при виборі апаратів захисту під час проектування або реконструкції, використовують автоматичні вимикачі з меншими номінальними струмами.

Блоки живлення, які зазвичай використовуються у однофазних електроприймачів з нелінійним навантаженням, в момент включення споживають значний струм, що приводить до виникнення імпульсу струму незначної тривалості під час включення. При використанні в мережі незначної кількості таких приймачів амплітуди імпульсу струму недостатньо для спрацювання апаратів захисту. Проте при збільшенні кількості таких приймачів в момент одночасного включення пікове значення струму може в декілька разів перевищувати струм спрацювання апаратів захисту, і, відповідно, може приводити до їх відключення.

**Постановка проблеми.** Очевидно, що спочатку слід виявити основні особливості перехідного процесу при підключенні до низьковольтної електричної мережі окремої світлодіодної лампи чи світильника. Саме тому дана робота присвячена математичному моделюванню пікових струмів при включенні світлодіодних джерел світла.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Світлодіодні джерела світла в наш час широко використовуються не тільки в комунально-побутовому секторі, а й у промисловості, на об'єктах транспортної інфраструктури. Частина таких джерел обладнано системою, що забезпечує плавне включення джерела. Однак, такі джерела достатньо дорогі, тому найбільшого поширення набули більш прості за конструкцією джерела, де процес



включення є стрімким та супроводжується появою значного струму та в окремих випадках перенапруги на конденсаторі [1-4]. Часто це призводить до виходу самого джерела світла з ладу, найчастіше, з двох причин – перегорає діодний міст або ж виходить з ладу конденсатор. За умови одночасного включення великої групи таких джерел в низьковольтній електричній мережі можуть виникати провали напруги [5-7], що може негативно вплинути на роботу інших наявних у мережі приймачів енергії, також значний струм на початку цього процесу може призводити до відключення автоматичного вимикача через спрацювання електромагнітного розчеплювача.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В даний час не існує остаточної методики вибору апаратів захисту в електричних мережах з світлодіодними джерелами світла. Для виключення проблеми спрацювання апаратів захисту при включенні в таких мережах проектувальники та монтажні організації використовують апарати захисту із завищеним номінальним струмом спрацювання, що приводить до зниження чутливості основного захисту. Тому дуже важливим є дослідження перехідних процесів при підключенні до низьковольтної електричної світлодіодних джерел світла для вибору їх оптимальної кількості та параметрів апаратів захисту.

**Мета дослідження.** На основі математичного моделювання дослідити особливості перехідного процесу при підключенні до низьковольтної електричної світлодіодних джерел світла.

**Виклад основного матеріалу.** Світлодіодні джерела світла в наш час широко використовуються не тільки в комунально-побутовому секторі, а й у промисловості, на об'єктах транспортної інфраструктури. До особливостей конструкції таких джерел світла слід віднести наявність в них випрямляча (діодного мосту) та конденсатора, а також і драйвера світлодіодів, який вмикається при досягненні певного рівня напруги конденсатора [8] (рис. 1).

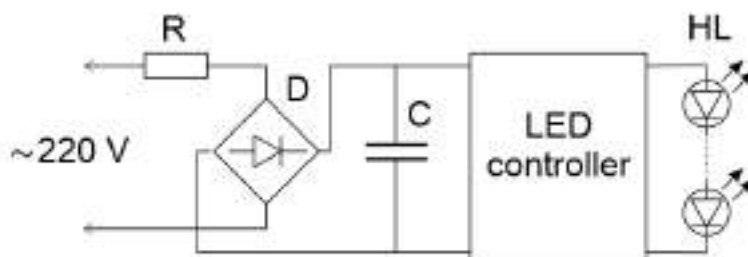


Рис. 1. Типова конструкція світлодіодного світильника

По відношенню до навантаження низьковольтна електрична мережа може бути представлена значенням синусоїдальної ерс  $e(t)$  та еквівалентним активно-індуктивним опором, що дорівнює опору петлі «фаза-ноль» (елементи  $R_s$  та  $L_s$  на рисунку 2), разом із цим, при використанні кабельних мереж, доцільно додатково врахувати еквівалентну ємність кабельних ліній  $C_s$ , яка складає біля 0,4 мкФ/км. Інші приєднані до мережі навантаження можуть бути задані у вигляді еквівалентної активно-індуктивної провідності (опори  $R_L$  та  $L_L$ ).

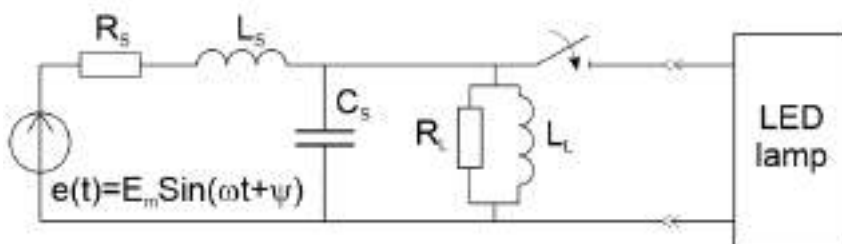


Рис. 2. Еквівалентна схема зовнішньої електричної мережі при приєднанні світлодіодного світильника

Враховуючи багатопараметричність отриманої електричної мережі було прийнято рішення для формування аналітичних залежностей використати ряд спрощень:

- нехтування ємнісною провідністю ліній електропередавання. Даний випадок відповідає електричній мережі з переважно повітряними лініями електропередачі, що характерно для приватного сектору міст та сільських регіонів;

- оскільки, за попередніми оцінками, зарядження конденсатора  $C$  відбувається за 2-4 мс, прийнято рішення в аналітичній моделі розглядати синусоїдальне джерело без діодного мосту;

- найбільш важкі умови включення будуть відповідати випадку, коли до вхідного опору електричної мережі приєднується лише даний світильник за відсутності інших навантажень, що враховується безкінечним опором навантажень ( $R_L = \infty$ ,  $L_L = \infty$ ).

Таким чином, в першому наближенні можна розглядати процес включення світлодіодного джерела світла, як процес включення кола з послідовним з'єднанням резистора, котушки та конденсатора на синусоїдальну напругу [9]. При цьому слід зазначити, що найбільше перехідний процес включення буде виявляти себе саме в першому напівперіоді підведеної синусоїдальної напруги, коли перед початком перехідного процесу маємо розряджений конденсатор. У наступному напівперіоді конденсатор буде вже зарядженим до деякої напруги, тому і перехідний процес проявлятиметься меншою мірою, ніж у попередньому випадку.

Розглянемо процес включення кола з послідовним з'єднанням резистора, котушки та конденсатора на синусоїдальну напругу (рис. 3).

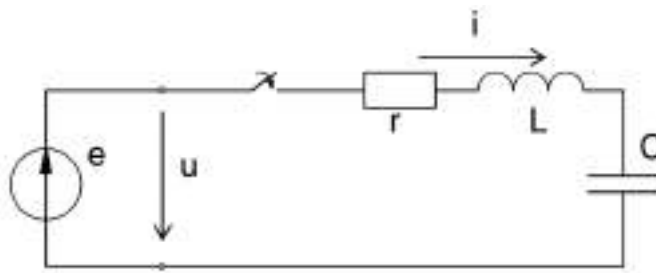


Рис. 3. Схема включення послідовного  $R, L, C$  кола на синусоїдальну напругу

Вхідна напруга змінюється за синусоїдальним законом:

$$u = U_m \cdot \sin(\omega t + \psi_u); \quad u(0) = U_m \cdot \sin \psi_u \quad (1)$$

де  $U_m$  – амплітуда вхідної напруги;  $\omega t$  – кутова швидкість;  $\psi_u$  – початкова фаза вхідної напруги;  $u(0)$  – вхідна напруга в початковий момент часу.

Перехідну функцію для струму можна знайти як суму вимушеної та вільної складової:

$$i = i' + i'' \quad (2)$$

де  $i'$  – вимушена складова струму;  $i''$  – вільної складова струму.

Для знаходження вимушеної складової необхідно розглянути усталений режим після комутації (Рис. 4).

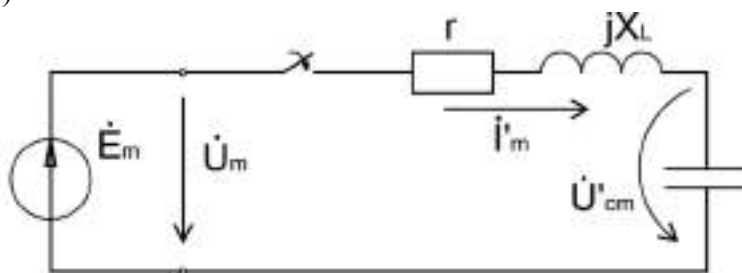


Рис. 4. Розрахункова схема усталеного режиму після комутації

Для знаходження комплексної амплітуди струму скористаємось законом Ома, який в символічній формі для схеми, зображеної на (рис. 4) набуває вигляду

$$i_m = \frac{\dot{U}_m}{Z} = \frac{U_m \cdot e^{j\psi_u}}{z \cdot e^{j\phi}} = \frac{U_m}{z} \cdot e^{j(\psi_u - \phi)}. \quad (3)$$

де  $Z$  – повний опір кола.

Миттєве значення вимушеної складової перехідного струму дорівнює:

$$i' = \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \phi). \quad (4)$$

У випадку електричного кола другого порядку залежно від величини активного опору процес може бути аперіодичним, гранично-аперіодичним та коливальним. Тому розглянемо кожен варіант окремо.

### Аперіодичний перехідний процес

Для того, щоб процес був аперіодичним, має виконуватись умова, що активний опір кола більше критичного, тобто:

$$R > R_{кр}, \quad R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (5)$$

де  $R$  – активний опір кола;  $R_{кр}$  – критичне значення активного опору кола;  $L$  – індуктивність кола;  $C$  – ємність кола.

Вираз для вільної складової струму потрібно шукати у вигляді:

$$i'' = A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t}, \quad (6)$$

де  $p_{1,2} = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{C}}$ ;  $A_1, A_2$  – постійні інтегрування;  $p_{1,2}$  – комплексноспряжені корені характеристичного рівняння.

Повний розв'язок для перехідного струму запишемо у вигляді:

$$i = i' + i'' = \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \phi) + A_1 \cdot e^{p_1 t} + A_2 \cdot e^{p_2 t} \quad (7)$$

Постійні інтегрування  $A_1$  та  $A_2$  знаходимо із граничних умов із урахуванням I та II законів комутації. У випадку прийнятих припущень маємо  $i(0) = 0$ ;  $u_C(0) = 0$ . Тоді шукане значення струму складе

$$i = i' + i'' = \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \phi) + A \cdot e^{p_1 t} + A_2 e^{p_2 t} =$$

$$= \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \phi) + \left[ \frac{\frac{U_m}{z} \cdot (\omega \cdot \sin(\psi_u - \phi + 90^\circ) - p_2 \cdot \sin(\psi_u - \phi)) - \frac{u(0)}{L}}{p_2 - p_1} \right] \cdot e^{p_1 t} +$$

$$+ \left[ \frac{-\frac{U_m}{z} \cdot (\omega \cdot \sin(\psi_u - \phi + 90^\circ) - p_1 \cdot \sin(\psi_u - \phi)) + \frac{u(0)}{L}}{p_2 - p_1} \right] \cdot e^{p_2 t}. \quad (8)$$

**Гранично-аперіодичний процес**

Для формування гранично-аперіодичного процесу має виконуватися умова

$$R = R_{kp} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}; \quad (9)$$

У цьому випадку

$$i'' = (A_1 + A_2 t) e^{pt} = A_1 \cdot e^{pt} + A_2 t \cdot e^{pt}. \quad (10)$$

де  $p = -\frac{R}{2L}$ .

Після знаходження постійних інтегрування маємо остаточний вираз:

$$\begin{aligned} i &= i' + i'' = \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + \\ &+ \left[ -\frac{U_m}{z} \cdot \sin(\psi_u - \varphi) + \left( \frac{u_L(0)}{L} - \frac{U_m}{z} \cdot \omega \cdot \sin(\psi_u - \varphi + 90^\circ) + \frac{U_m}{z} \cdot p \cdot \sin(\psi_u - \varphi) \right) \cdot t \right] \cdot e^{pt} = \\ &= \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + \\ &+ \left[ -\frac{U_m}{z} \cdot \sin(\psi_u - \varphi) + \left( \frac{u_L(0)}{L} - \frac{U_m}{z} \cdot (\omega \cdot \sin(\psi_u - \varphi + 90^\circ) + p \cdot \sin(\psi_u - \varphi)) \right) \right] \cdot t \cdot e^{pt}. \quad (11) \end{aligned}$$

**Коливальний процес**

Для формування коливального процесу має виконуватися умова:

$$R < R_{kp}, \quad R_{kp} = 2 \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (12)$$

У цьому випадку вільна складова має коливальний характер:

$$i'' = A \cdot e^{-\sigma t} \cdot \sin(\omega_p \cdot t + \psi_{pi}), \quad (13)$$

де  $A, \psi_{pi}$  – постійні інтегрування;  $p_{1,2}$  – комплексноспряжені корені характеристичного рівняння.

$$P_{1,2} = -b \pm j\omega_p, \quad \text{де } b = \frac{R}{2L}; \quad \omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}; \quad (14)$$

$$\omega_p = \sqrt{\omega_0^2 - b^2}. \quad (15)$$

Остаточний вираз для струму має вигляд:

$$\begin{aligned} i &= i' + i'' = \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + A e^{-bt} \cdot \sin(\omega_p t + \psi_{pi}) = \\ &= \frac{U_m}{z} \cdot \sin(\omega t + \psi_u - \varphi) + \frac{\frac{U_m}{z} \cdot \sin(\psi_u - \varphi)}{\sin \psi_{pi}} \cdot e^{-bt} \cdot \sin(\omega_p t + \psi_{pi}). \quad (16) \end{aligned}$$

Характер протікання перехідного процесу в значній мірі залежить від фази джерела напруги в момент комутації. Для аналізу найбільш важких режимів комутації було проведено математичне моделювання процесу включення світлодіодних джерел світла за формулами (8), (11) та (16) та отримані графіки залежностей  $i(t)$ , представлені на рисунках (5)-(8).

Система електропостачання має порівняно невеликий активний опір по відношенню до активного опору самої лампи, тому для різних варіантів протяжності електричної мережі можна вважати, що сумарний активний опір дорівнює опору лампи (близько 10 Ом). В той же час індуктивність мережі змінюється в значному діапазоні, що може призвести як до аперіодичного (рисунки 5, 6) так і до коливального (рисунки 7, 8) характеру перехідного процесу.

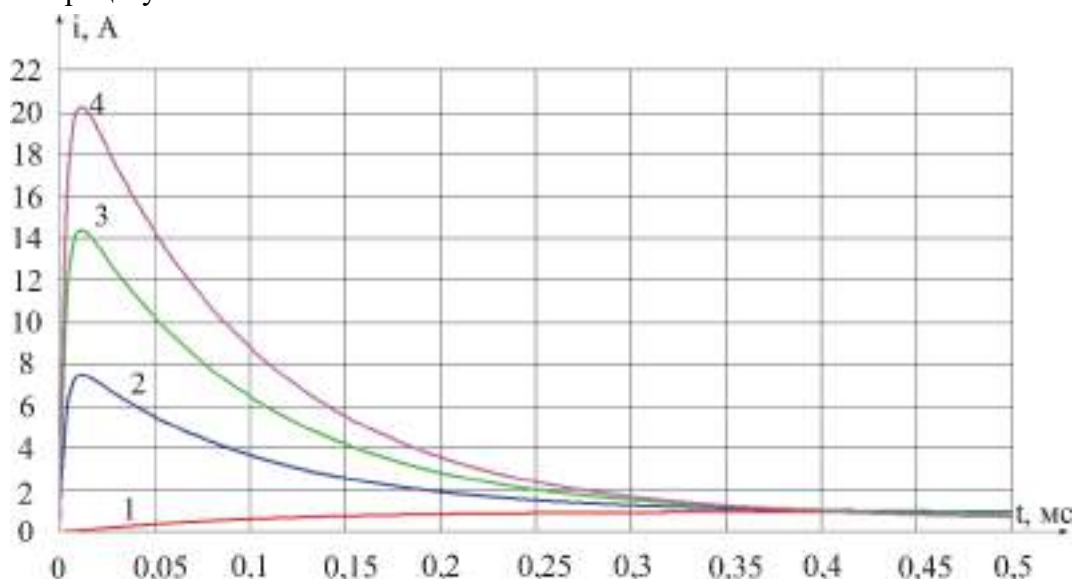


Рис. 5. Залежності зміни струму для схеми з параметрами  $R=10$  Ом,  $L=31,2$  мкГн,  $C=10$  мкФ при початковій фазі напруги: 1 –  $0^\circ$ ; 2 –  $15^\circ$ ; 3 –  $30^\circ$ ; 4 –  $45^\circ$

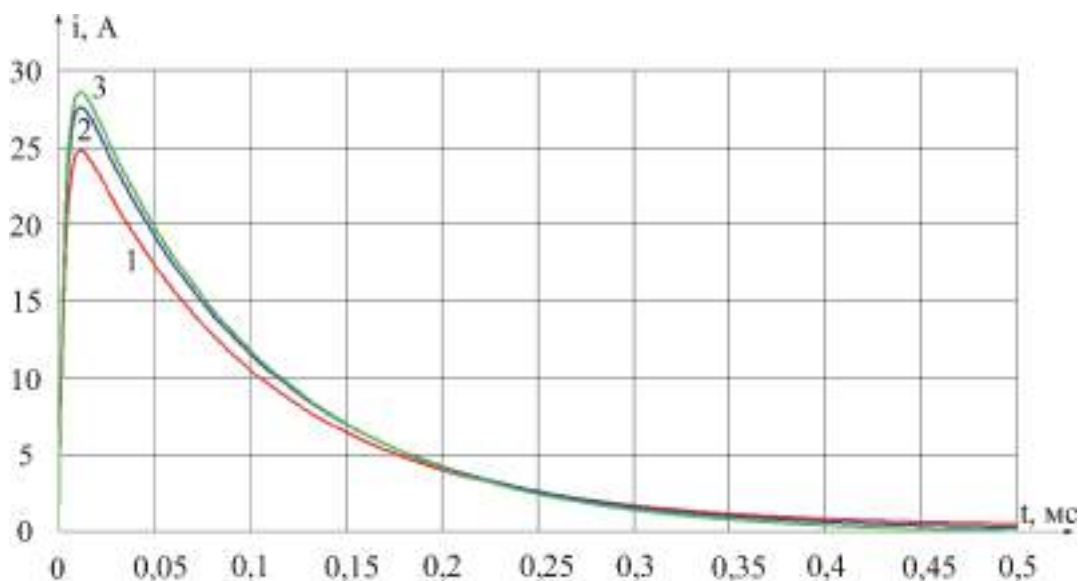


Рис. 6. Залежності зміни струму для схеми з параметрами  $R=10$  Ом,  $L=31,2$  мкГн,  $C=10$  мкФ при початковій фазі напруги: 1 –  $60^\circ$ ; 2 –  $75^\circ$ ; 3 –  $90^\circ$

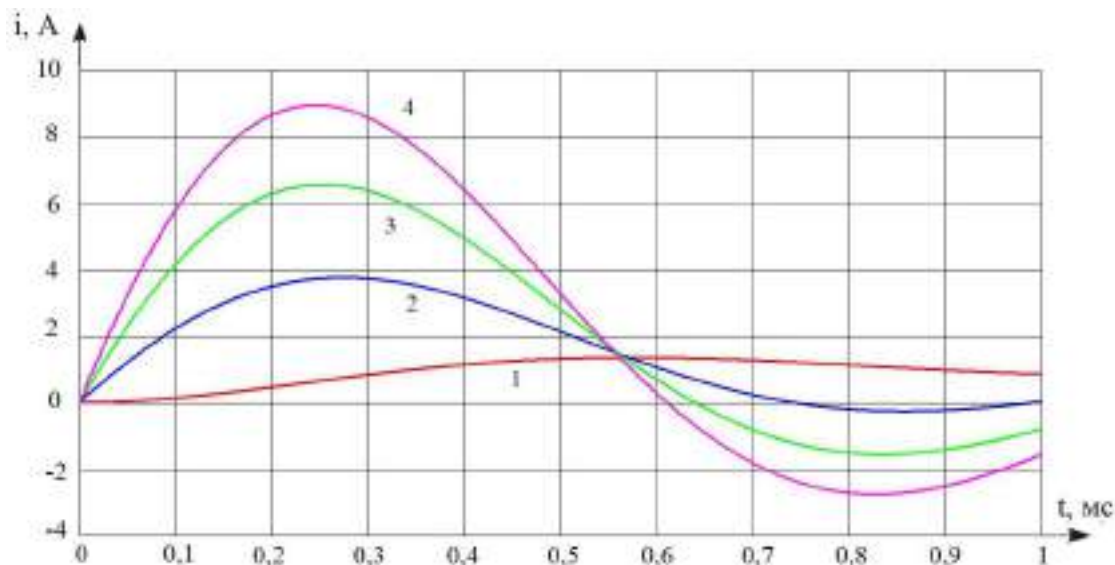


Рис. 7. Залежності зміни струму для схеми з параметрами  $R=10$  Ом,  $L=3,12$  мГн,  $C=10$  мкФ при початковій фазі напруги: 1 –  $0^\circ$ ; 2 –  $15^\circ$ ; 3 –  $30^\circ$ ; 4 –  $45^\circ$

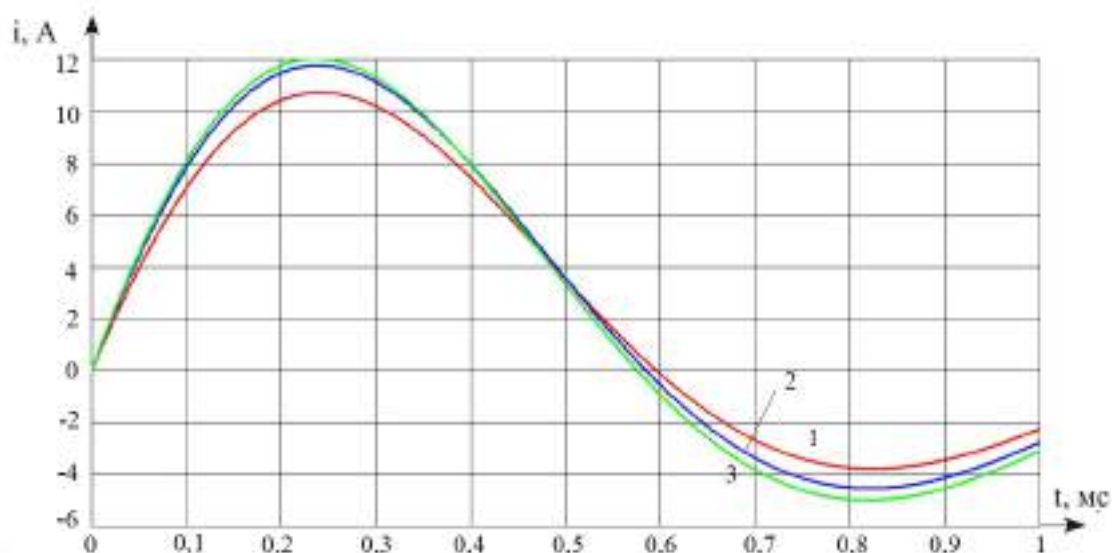


Рис. 8. Залежності зміни струму для схеми з параметрами  $R=10$  Ом,  $L=3,12$  мГн,  $C=10$  мкФ при початковій фазі напруги: 1 –  $60^\circ$ ; 2 –  $75^\circ$ ; 3 –  $90^\circ$

Як можна побачити з наведених графіків, найбільш важкий режим може виникнути при аперіодичному характері перехідного процесу, який виникає при невеликих значеннях індуктивності мережі. Цей випадок відповідає точці приєднання споживача поблизу живлячої підстанції. За збільшення кількості паралельно включених ламп піковий струм під час включення може перевищити номінальний струм спрацювання швидкодіючих апаратів захисту і привести до їх відключення.

**Висновки.** У роботі отримано аналітичні залежності струму від часу при включенні світлодіодних джерел для випадків аперіодичного, гранично аперіодичного та коливального перехідних процесів.

Досліджено вплив фази напруги джерела живлення на найбільше значення пікового струму. Як видно з рисунків 5-8, найбільші пікові струми мають місце за аперіодичного характеру перехідного процесу та складають майже 30 А за номінальної потужності світлодіодних джерел світла, що не перевищує 10-20 Вт. Незважаючи на швидке затухання

перехідного процесу (0,2-0,4 мс), такі струми можуть приводити до спрацювання апаратів захисту та перерв в електропостачанні споживачів.

В результаті моделювання визначено, що в мережах зі значною кількістю світлодіодних джерел світла піковий струм під час одночасного включення може значно перевищувати номінальний струм спрацювання швидкодіючих апаратів захисту, і, як наслідок, може призводити до їх відключення. Це необхідно враховувати при виборі параметрів апаратів захисту та кількості світлодіодних джерел, що до них приєднуються.

### Список використаних джерел

1. Посібник до ДБН.В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» Розроблено на замовлення програми UNDP в Україні / за ред. М.О. Любича, Ю.С. Громадського, І.Ю. Черкашина. – К. : ДІА, 2019. – 180 с.; іл.
2. Sankaran C. *Power Quality* / Sankaran C. – CRC Press, 2002. – 218 p.
3. Roger C. Dugan. *Electrical Power Systems Quality* / Roger C. Dugan, Surya Santoso, Mark F. McGranaghan. – McGraw-Hill, 2003. – 528 p.
4. Hans De Keulenaer. *Resilient power supply in a modern office building* / Hans De Keulenaer, Prof Angelo Baggiini // *Copper Development Association: Power quality application Guide Part 5.4.1*.
5. ГОСТ 13109 *Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения*. – Введений в Україні 01.01.1999. – (Національний стандарт України).
6. ДСТУ EN 50160:2010. *Характеристики напруги електроживлення, постачаної розподільчими мережами загальної призначеності*. – Введений в Україні 01.07.2012. – (Національний стандарт України).
7. МЕК 61000-4-30:2008. *Електромагнітна сумісність (ЕМС) – Частина 4-30: Техніка випробувань і вимірювань // Методи вимірювань показників якості електроенергії, 2008*. – 59 с.
8. Скопич Є. І. *Дослідження режиму споживання нелінійними побутовими електроприймачами при змінній напрузі живлячої електромережі / Є. І. Скопич // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів, 10-11 квітня 2019 р.) : збірник тез доповідей*. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2019. - С. 131-133.
9. Горський В. В. *Урахування потужності спотворень при аналізі електроспоживання однофазних електроприймачів / В. В. Горський // Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі: Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих учених (м. Чернігів, 10 -11 квітня 2019 р.) : збірник тез доповідей*. – Чернігів : Черніг. нац. технол. ун-т, 2019. – С. 149-151.

### References

1. Liubych, M.O., Hromadskyi, Yu.S., Cherkashyn, I.Iu. |(2019). *Posibnyk do DBN.V.2.5-28:2018 «Pryrodne i shtuchne osvittlenia» Rozrobleno na zamovlennia prohramy UNDP v Ukraini [Manual to DBN.V.2.5-28: 2018 "Natural and artificial lighting" Developed for the UNDP program in Ukraine]*. DIA.
2. Sankaran, C. (2002). *Power Quality*. CRC Press.
3. Roger C. Dugan, Surya Santoso, Mark, F. McGranaghan. (2003). *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill.
4. Hans De Keulenaer, Angelo Baggiini. (n.d.). *Resilient power supply in a modern office building. Copper Development Association: Power quality application Guide Part 5.4.1*.
5. HOST 13109 *Normy kachestva elektrycheskoi energii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniiia [Electricity quality standards in general-purpose power supply systems]*. (01.01.1999).
6. DSTU EN 50160:2010 *Kharakterystyky napruhy elektrozhyvlennia, postachanoi rozpodilchymy merezhamy zahalnoi pryznachenosti [Characteristics of power supply voltage supplied by general purpose distribution networks]*. (01.07.2012).
7. МЕК 61000-4-30:2008. *Elektromahnitna sumisnist (EMS). Chastyna 4-30: Tekhnika vyprobuvan i vymiriuvan [MEK 61000-4-30: 2008. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-30: Testing and measurement techniques]*. (2008). *Metody vymiriuvan pokaznykiv yakosti elektroenerhii*.

8. Skopych, Ye.I. (2019). Doslidzhennia rezhymu spozhyvannia neliniinymy pobutovymy elektroprymachamy pry zminnii napruzi zhyvliachoi elektromerezhi [Research of consumption mode by nonlinear household electric receivers at alternating voltage of the power supply network]. Proceeding from *Novitni tekhnologii u naukovii diialnosti i navchalnomu protsesi: Vseukrainska naukovopraktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh – Latest technologies in scientific activity and educational process: All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists* (pp. 131-133). Chernih. nats. tekhnol. un-t.

9. Horskyi, V.V. (2019). Urakhuvannia potuzhnosti spotvoren pry analizi elektrospozhyvannia odnofaznykh elektroprymachiv [Taking into account the power of distortion in the analysis of power consumption of single-phase power receivers]. *Novitni tekhnologii u naukovii diialnosti i navchalnomu protsesi: Vseukrainska naukovopraktychna konferentsiia studentiv, aspirantiv ta molodykh uchenykh – Latest technologies in scientific activity and educational process: All-Ukrainian scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists* (pp. 149-151). Chernih. nats. tekhnol. un-t.

Отримано 05.07.2021

UDC 621.311

**Vadim Bodunov<sup>1</sup>, Ihor Dihtyaruk<sup>2</sup>, Andrey Krasnozhon<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor of Electrical Engineering And Information and Measuring Technologies Department

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** [vad1979@ukr.net](mailto:vad1979@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2882-5787>

<sup>2</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor of Electrical Engineering and Information And Measuring Technologies Department

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [dihtyaruk.ihor@gmail.com](mailto:dihtyaruk.ihor@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6565-6356>

<sup>3</sup>PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Electrical Engineering and Information and Measuring Technologies Department

Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**Email:** [red\\_john@ukr.net](mailto:red_john@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6215-7535>

## MATHEMATICAL SIMULATION OF PEAK CURRENTS WHEN SWITCHING ON LED LIGHT SOURCES

*Urgency of the research is due to the fact that LED light sources are widely used not only in public utilities, but also in industry, in transport infrastructure. Their switching process is fast and is accompanied by the appearance of significant current and, in some cases, overvoltage on the capacitor.*

*Thus, target of research is necessary to identify the main features of the transient process when connected to a low-voltage electrical network of a separate LED lamp or luminaire.*

*Actual scientific researches and issues analysis has shown that they are mainly devoted to the problems of higher harmonics during the operation of LED light sources, the appearance of significant current and in some cases overvoltage on the capacitor when they are turned on. It should be noted that researches of transients at inclusion are based on experiments with physical models.*

*Uninvestigated part of general problem is that there are no analytical research methods of transients when connected to low-voltage electric network LED light sources to select their optimal number and parameters of protection devices.*

*The research objective is investigation of the features of the transient process when connected of LED light sources using mathematical modeling.*

*The article analytically derives the current of the LED light source at the time of inclusion. Variants of periodic, aperiodic and boundary-aperiodic transients are considered. The corresponding graphs for different moments of inclusion in relation to a phase of a power supply network are resulted.*

*The conclusions state that the largest peak currents occur in the aperiodic nature of the transient process. The transition process attenuates in 0.2-0.4 ms. It is determined that in networks with a significant number of LED light sources, the peak current during switching on can significantly exceed the rated operating current of high-speed protection devices, and, as a consequence, lead to their switching off.*

**Keywords:** nonlinear consumer; mathematical model; switching, peak current; led light source.

**Fig.:** 8. **References:** 9.



## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-265-272

УДК 502.175(282.247.324)

**Віктор Мовенко**

старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою

Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна).

E-mail: [viktor.movenko@gmail.com](mailto:viktor.movenko@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3395-3476>

### МОНІТОРИНГ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ РІЧОК ДЕСНЯНСЬКОГО БАСЕЙНУ

*В даній роботі, на основі матеріалів Деснянського басейнового управління водних ресурсів Держводагенства України та Департаменту екології та природних ресурсів Чернігівської обласної державної адміністрації був проведений аналіз моніторингу водокористування та водовідведення в Чернігівській області за 30 років, побудований графік водокористування та водовідведення, який показав динаміку змін в цій галузі. Також були визначені основні речовини забруднювачі та підприємства, які скидають забруднені стоки у відкриті водойми. Запропоновані шляхи поліпшення екологічного стану водних ресурсів Чернігівського регіону.*

**Ключові слова:** Водні ресурси; екологічний стан; навколишнє середовище; річка Десна; Деснянський басейн.

Рис.: 2. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** В останні десятиріччя проблеми екологічного стану навколишнього середовища все більше турбують сучасне населення земної кулі. Зростаюча загроза всесвітнього потепління, танення льодовиків, зміна клімату потребують надзвичайних заходів в усіх державах території Землі. Враховуючи вищенаведене, великого значення набуває дослідження водних ресурсів, контроль за їх екологічним станом, ступень забруднення та формування водного стоку річок, які використовуються для різних потреб (в т.ч. водокористування та водовідведення) населення.

**Постановка проблеми.** Проведення комплексного моніторингу екологічного стану річок Деснянського басейну потребує постійного контролю і спостереження за станом водних ресурсів в навколишньому середовищі з метою забезпечення водоспоживання та водовідведення, визначення рівня його забруднення та швидкого реагування на надзвичайні події та попередження можливих аварій, а також зменшення їх наслідків для населення і навколишнього природного середовища [1; 2; 3; 4].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При підготовці статті були розглянуті останні публікації та звіти у відкритому доступі, присвячені проблемам моніторингу екологічного стану водних ресурсів [5; 6; 7].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Для виконання комплексного моніторингу екологічного стану річок Деснянського басейнового управління водних ресурсів Держводагенства України в Чернігівській області постійно збирає інформацію про водокористування та водовідведення всіма водоспоживачами, контролює екологічний стан річок Деснянського басейну, стан їх забруднення промисловими підприємствами, впливом атмосферних опадів та рівнем ґрунтових вод на підконтрольній території [7; 8].

**Постановка завдання.** Мета даної роботи – проаналізувати використання водних ресурсів Чернігівської області за 30 останніх років, вивчити обсяги водовідведення у відкриті водойми, визначити підприємства, які найбільше забруднюють зворотні води та виявити основні речовини забруднювачі.

**Виклад основного матеріалу.** Долина річки Десна є однією з найбільших та мальовничих в Україні. Річка Десна друга за величиною притока Дніпра, яка впадає в нього з лівого берега, а Дніпро в свою чергу є четвертою за довжиною (після Волги, Дунаю та Уралу) і третьою за площею басейну річка Європи. Річка Дніпро, в яку впадає Десна, в свою чергу,

впадає в Чорне море і має вихід до водосховищ. Так, Київське, Канівське, Кременчуцьке, Кам'янське, Дніпровське та Каховське водосховища утворюють Дніпровський каскад, будівництво якого тривало майже півстоліття і було пов'язане з використанням води Дніпра для виробництва електроенергії та забезпечення водою населення України, судноплавства.

Тому всі екологічні проблеми, які починаються з Деснянського басейну, переходять до Дніпровського басейну, що негативно впливає на природу України. Ця тема є актуальною на сьогоднішній день, бо якщо екологічні проблеми не досліджувати і не шукати способи їх вирішення, то в майбутньому ці проблеми можуть стати катастрофічними.

В межах басейну річки Дніпро виділено суббасейн річки Десна, який розділено на 7 водогосподарських ділянок (наказ Міністерства екології та природних ресурсів України № 103 від 03.03.2017 «Про затвердження меж районів річкових басейнів, суббасейнів та водогосподарських ділянок») - (Рис. 1).

Річка Десна є найбільшою лівою притокою Дніпра, вона приймає 18 правих та 13 лівих приток. Десна бере початок у Смоленській області і впадає у Дніпро поблизу м. Києва. Притоками Десни в Україні є річки Сейм (748 км), Івотка (81 км), Шостка (56 км), Остер (199 км), Снов (233 км), Убідь (106 км), Мена (70 км), Стрижень (24 км), Білоус (49 км). Її довжина 1130 км, в межах України – 594 км, водозбірна площа Десни 89 174 км<sup>2</sup>, висота витоку 238 м, гирла – близько 92 м, середній ухил річки 13 см на 1 км [6].

У межах України, у водозбірному басейні р. Десна, протікає 5 річок площею водозбору від 2 тис. км<sup>2</sup> – Снов (53800 км<sup>2</sup>, 200км), Сейм (7400 км<sup>2</sup>, 228км), Клевень (2660 км<sup>2</sup>, 120км), Судость та Остер (2950 км<sup>2</sup>, 199км). Згідно гідрогеологічного районування України, територія суббасейну річки Десна відноситься до Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну пластових вод.

Тип живлення річок суббасейну Десни переважно атмосферний, з помітною участю ґрунтових вод (снігове живлення - біля 50 %, дощове – 30 %, підземне – 20 %). Для багатьох річок суббасейну характерний підвищений вміст заліза і марганцю, який має природне походження внаслідок антропогенного навантаження.

Серед головних чинників, які впливають на екологічний стан водних ресурсів потрібно враховувати як кліматичні фактори, так і фактори зовнішнього впливу. Так вагомий внесок у погіршення екологічного стану водних ресурсів вносять різноманітні забруднення, а саме:

- забруднення органічними речовинами (результат недостатньої очистки стічних вод та забруднення стічними водами промислових та комунальних підприємств);
- антропогенні забруднення;
- забруднення біогенними елементами (результат недостатньої очистки стічних вод та їхній змив з сільгоспугідь [9, 10].

За оцінкою антропогенних навантажень за ступенем скидання забруднених недостатньо очищених зворотних та зливних вод, найбільшого навантаження зазнають малі річки басейну Десни – р. Білоус і р. Стрижень в м. Чернігів, а також р. Сейм і р. Шостка в області.

З кожним роком, Деснянський басейн суттєво потерпає від забруднення різноманітними промисловими відходами. Так м. Чернігів формує більше третини органічного навантаження на поверхневі води (харчова промисловість – 40 %, машинобудування – 13 %, легка промисловість – 10 %, хімічна – 10 %, виробництво та розподілення електроенергії – 7 %); Шостка (харчова промисловість – 53 %, виробництво та розподілення електроенергії – 32 %, хімічна – 6 %); Мена (харчова промисловість – 80 %, виробництво деревини – 17 %); Сосниця (легка промисловість – 65 %, харчова промисловість – 32 %); Новгород-Сіверський (харчова промисловість – 90 %, легка промисловість – 5 %); Короп (харчова промисловість – 79 %).

Водогосподарські ділянки суббасейну річки Десна

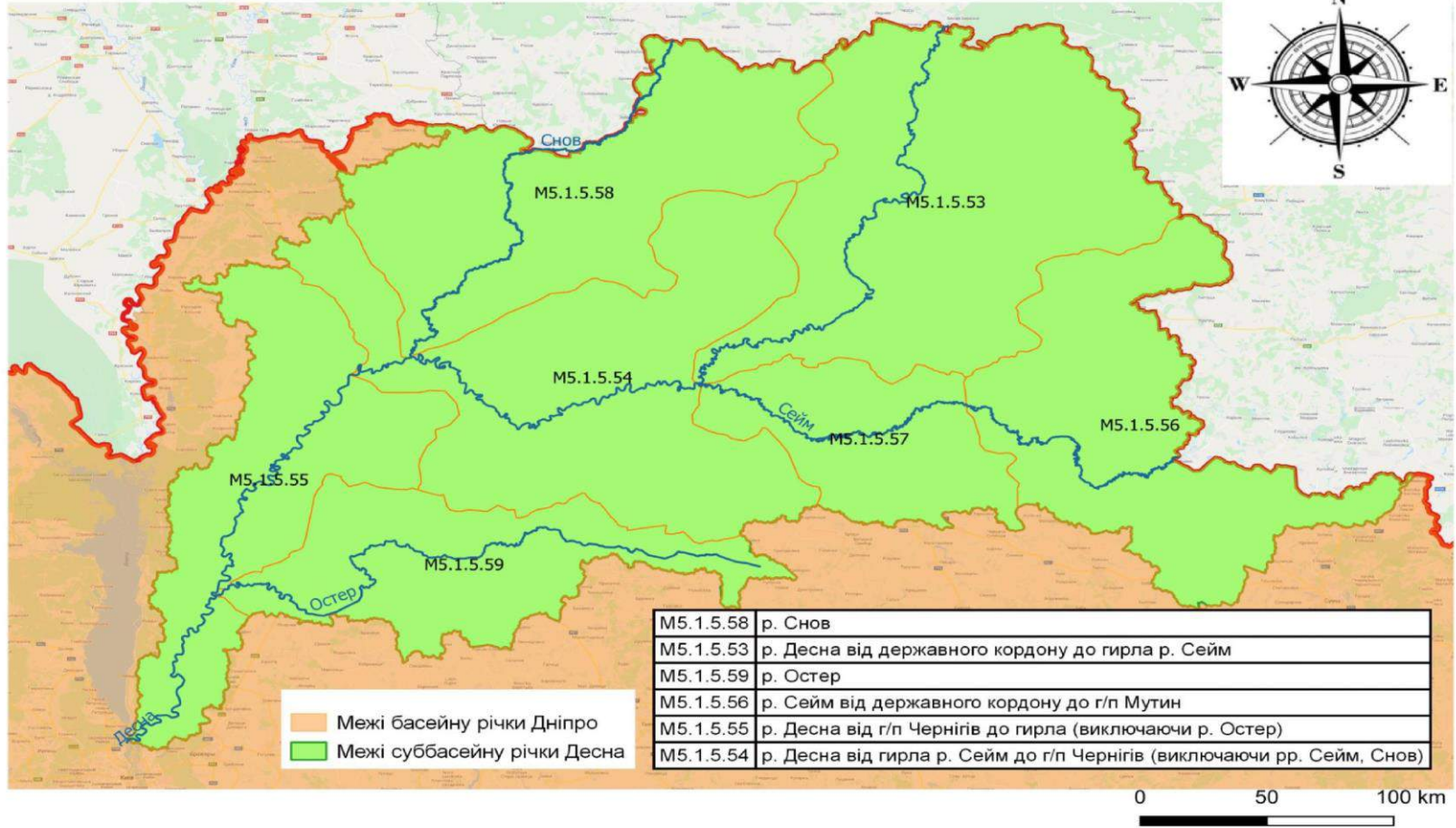


Рис. 1. Карта водогосподарського та гідрографічного районування суббасейну річки Десна

У 2019 році, за даними лабораторного контролю зворотних вод Державної екологічної інспекції, зафіксовано перевищення встановлених нормативів на підприємствах, які експлуатуються в Чернігівській області: комунальне підприємство «Чернігівводоканал»; ПрАТ «ЧКФ «Стріла» м. Чернігів; комунальне підприємство «Ічень» Ічнянської міської ради; комунальне підприємством «Вода» Коропської селищної ради; комунальне підприємство «Бахмач-водсервіс»; комунальне підприємство «Господар» Варвинської селищної ради; комунальне підприємство «Куликівське» Куликівської селищної ради; комунальне підприємство «Козелецьводоканал»; акціонерне товариство Линовицький цукрокомбінат «Красний»; комунальне підприємство «Прилуkiteпловодопостачання» Прилуцької міської ради тощо.

У 2019 р. зі стічними водами промислових та комунальних підприємств у поверхневі води Деснянського басейну було відведено 1,19 тис. тон органічних речовин, виражених через БСК5 – 0,25 тис. тон, та 0,94 тис. тон – за ХСК. Серед органічних сполук переважали продукти синтезу, що потребують хімічного окиснення. Головну роль у промисловому забрудненні відігравали галузі харчової промисловості (за БСК5 - 37 %, за ХСК - 38 %), а також целюлозно-паперової галузі (за БСК5 – 19 %, за ХСК – 23 %).

Головними забруднювачами р. Стрижень у м. Чернігові є люди і підприємства. Так за даними комунального підприємства «ЧЕРНІГІВВОДОКАНАЛ», далеко не завжди підприємства-забруднювачі витрачають кошти на доочищення стічних вод. Тому непоодинокі випадки, коли скид забруднених вод проводиться в систему дощової каналізації міста. Звісно, з дощової каналізації вода, забруднена хімічними сполуками, потрапляє до р. Стрижень. Наслідки впливу на екологічну ситуацію по місту Чернігову скинутих у річку Стрижень хімічно-активних стоків підприємств важко реально оцінити.

Щодо річки Остер, то найбільшу загрозу забруднення річки несуть неочищені стічні побутові води та відсутність їх очистки, а також антропогенні забруднення. Так у 2016 році було зафіксовано велике забруднення р. Остер. За лабораторними даними Мінекології України, в усіх пробах води зафіксоване перевищення гранично допустимих концентрацій для водойми рибогосподарського призначення: по залізу загальному – до 10 разів, амонію – до 3 разів, фосфат-іонів – до 2 разів. Існує припущення громадськості, що скид нечистот здійснили в районі ніжинської кільцевої дороги біля селищ Григорівка та Григоро-Іванівка. Саме там ними й розташовані ніжинські очисні споруди.

Річка Білоус найбільше потерпає від точкового скиду КП «Чернігівводоканал». Протягом останніх років спостерігалось постійне перевищення нормативів ГДС зворотних вод цього підприємства.

Щодо річки Сейм, то зараз ситуація щодо забруднень під контролем, але у 2011 р. був один з наймасштабніших випадок забруднення річки. Масовий викид неочищених стічних вод в річку Сейм, що протікає по території Росії та України, зафіксований в Курській області Росії.

В Сумській області головну частину забруднення річка Десна отримує з річки Шостка біля с. Пирогівка за рахунок перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) по фосфатах, нітритах, БПК, залізу та марганцю. Крім того, небезпечними об'єктами у Сумській області басейна р. Десна, є станція «Перемога» Середино-Будського району та склад «Агрохім» Ямпільського району.

### ДИНАМІКА ВОДОВИКОРИСТАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ В ЧЕРНІГІВСЬКІЙ ОБЛАСТІ з 1990 по 2019 роки (млн. м<sup>3</sup>)

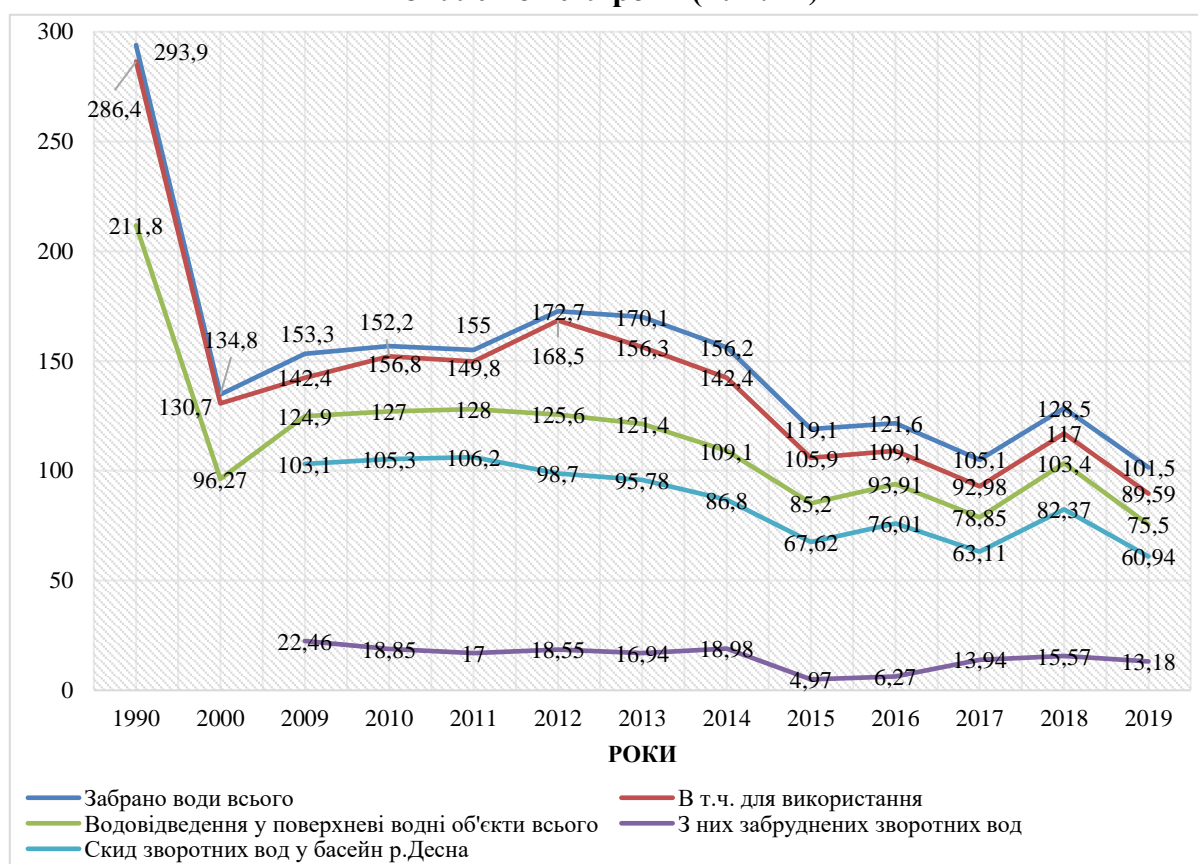


Рис. 2. Графік водокористування та водовідведення з 1990 по 2019 роки

На (рис. 2) наведений графік динаміки водокористування та водовідведення в Чернігівській області за останні 30 років, який показує постійне зменшення використання поверхневих та підземних водних ресурсів. Також на графіку відслідковується зменшення скидів зворотних вод у поверхневі водні об'єкти (в т.ч. у басейн р. Десна). Ці зміни пов'язані зі зменшенням виробництва на промислових об'єктах останніми роками, закриттям деяких підприємств, демографічними змінами в багатьох населених пунктах. Разом з тим продовжується забруднення поверхневих водних об'єктів зворотними водами, особливо комунальними службами багатьох міст та містечок, яке за останніми даними Держводагентства України складає понад 99% всіх зворотних вод [6].

У цій роботі, як джерело інформації, були використані матеріали Деснянського басейнового управління водних ресурсів Держводагентства України та Департаменту екології та природних ресурсів Чернігівської обласної державної адміністрації. У ході роботи був проаналізований стан водокористування та водовідведення в Чернігівській області за 30 років, побудований графік водокористування та водовідведення, який показав динаміку змін в цій галузі. Також були визначені підприємства, які скидають забруднені стоки у відкриті водойми. Запропоновані шляхи поліпшення екологічного стану водних ресурсів Чернігівського регіону.

#### Висновки.

1. Основний внесок у забруднення водного середовища Деснянського басейну належить об'єктам комунального господарства. Забруднення органічними та біогенними речовинами найбільше іде з таких підприємств: КП «Чернігівводоканал» м. Чернігів,

КП «Ніжинське управління водопровідно-каналізаційного господарства» м. Ніжин, КП «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства» м. Шостка та КП «Виробниче управління водопровідно-каналізаційного господарства» м. Конотоп.

2. Основні біогенні сполуки, які забруднюють водні об'єкти Деснянського басейну – це сполуки неорганічного азоту, сполуки залізу, сполуки фосфатів тощо.

3. Деснянським басейном протікають транскордонні річки Сейм та Судость. За інформацією 2020 року, зараз ситуація стабільна і забруднень не виявлено.

4. У процесі дослідження було виявлено, що велике навантаження на басейн несе антропогенне навантаження, яке спричиняють більшість неканалізованих населених пунктів. Останнім часом збільшився поверхневий стік з сільськогосподарських угідь, що містить біогенні речовини, отрутохімікати та мінеральні добрива. Найбільше від антропогенного навантаження в Деснянському басейні потерпає р. Остер. У 2020 р. розпочато кримінальне впровадження, оскільки русло та витік Остра повністю розораний. Ще однією проблемою є незаконно збудовані земляні перемички через р. Остер [11]. Також значного навантаження отримують річки Десна та Стрижень в обласному центрі – м. Чернігів.

5. Від браконьєрства страждає іхтіофауна Деснянського басейну. Місцеве населення та бракон'єри використовують для лову риби заборонені сітки та електричні засоби.

6. Для вирішення проблеми падіння рівня ґрунтових вод, необхідно економити Деснянську воду, дотримуватися водного природоохоронного законодавства, зменшувати антропогенний тиск, а саме: висаджувати рослини, які є фіто меліораторами (верба, тополя, осика, вільха), проводити розчищення водоохоронних зон [12].

7. Гідроморфологічні зміни у басейні Десни, в першу чергу, пов'язані з будівництвом протиповеневих та водопідпірних споруд, розвитком міст та з сільськогосподарською діяльністю.

### Список використаних джерел

1. Водний кодекс України від 06.06.1995 № 213/95-ВР [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.
2. Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
3. Про охорону навколишнього природного середовища : Закон України від 25.06.1991 № 1264-ХП [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.
4. Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом : Закон України від 04.10.2016 № 1641-VIII [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19#Text>.
5. Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2019 рік [Електронний ресурс] // Департамент екології та природних ресурсів Чернігівської обласної державної адміністрації. – Режим доступу до ресурсу: <http://eco.cg.gov.ua/index.php?id=15801&tp=1&pg>.
6. Антропогенне навантаження на суббасейн річки Десна [Електронний ресурс] // Деснянське басейнове управління водних ресурсів Держводагентства України. – 2021. – Режим доступу: <https://desna-buvr.gov.ua/antropohenne-navantazhennia-na-subbaseyn-richky-desna/>.
7. Екологічні основи управління водними ресурсами : навч. посіб. [Електронний ресурс] / Томільцева А. І., Яцик А. В., Мокін В. Б. та ін. – К.: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування, 2017. – 216 с. – Режим доступу до ресурсу: <http://dea.edu.ua/img/source/Book/4.pdf>.
8. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною : Наказ МОЗ України № 400 від 12.05.2010 // Офіційний вісник України. – 2010. – № 51. – Ст. 1717.
9. Василенко О. А. Раціональне використання та охорона водних ресурсів : навчальний посібник / О. А. Василенко, Л. Л. Литвиненко, О. М. Квартенко. – Рівне : НУВГП, 2007. – 246 с.
10. Левківський С. С. Раціональне використання та охорона водних ресурсів / С. С. Левківський. – К. : Либідь, 2006. – 280 с.

11. Рябець К. А. Екологічне право України : навчальний посібник / К. А. Рябець. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 438 с.

12. Терещук О. І. Гідрологічний режим та екологічний стан р. Десна в межах Чернігівської області / О. І. Терещук, В. І. Мовенко // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – 2014. – Вип. 10. – С. 62-71.

### References

1. Vodnyi kodeks Ukrainy [Water Code of Ukraine], Code № 213/95-VR (on 06.06.1995). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>.

2. Zemelnyi kodeks Ukrainy [Land Code of Ukraine], Code № 2768-III (on 25.10.2001). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.

3. Pro okhoronu navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha [On the protection of the natural environment], Law of Ukraine № 1264-XII (on 25.06.1991). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>.

4. Pro vnesennia zmin do deiakykh zakonodavchykh aktiv Ukrainy shchodo vprovadzhennia intehrovanykh pidkhodiv v upravlinni vodnyimi resursamy za baseinovym pryntsyptom [On amendments to some legislative acts of Ukraine on the implementation of integrated approaches in water resources management on a basin basis], Law of Ukraine № 1641-VIII (on 04.10.2016). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1641-19#Text>.

5. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv Chernihivskoi oblasnoi derzhavnoi administratsii [Department of Ecology and Natural Resources of the Chernihiv Regional State Administration]. (2020). *Dopovid pro stan navkolyshnoho pryrodnoho seredovyscha v Chernihivskii oblasti za 2019 rik* [Report on the state of the environment in the Chernihiv region for 2019]. <http://eco.cg.gov.ua/index.php?id=15801&tp=1&pg>.

6. Desnianske baseinove upravlinnia vodnykh resursiv Derzhvodahentstva Ukrainy [Desnyanske basin management of water resources of the State Water Agency of Ukraine]. (2021). *Antropohenne navantazhennia na subbasein richky Desna* [Anthropogenic load on the Desna river sub-basin]. <https://desna-buvr.gov.ua/antropohenne-navantazhennia-na-subbaseyn-richky-desna/>.

7. Tomiltseva, A. I., Yatsyk, A. V., & Mokin, V. B. (2017). *Ekolohichni osnovy upravlinnia vodnyimi resursamy* [Ecological bases of water resources management]. Instytut ekolohichnoho upravlinnia ta zbalansovanoho pryrodokorystuvannia. <http://dea.edu.ua/img/source/Book/4.pdf>.

8. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm ta pravyl «Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoї dlia spozhyvannia liudynoiu [On approval of the State sanitary norms and rules "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption], Order of the Ministry of Health of Ukraine № 400 (on 12.05.2010). *Ofitsiyni visnyk Ukrainy*, (51), 1717.

9. Vasylenko, O. A., Lytvynenko, L. L., & Kvartenko O. M. (2007). *Ratsionalne vykorystannia ta okhorona vodnykh resursiv* [Rational use and protection of water resources]. NUVHP.

10. Levkivskiy, S. S. (2006). *Ratsionalne vykorystannia ta okhorona vodnykh resursiv* [Rational use and protection of water resources]. Lybid.

11. Riabets, K. A. (2009). *Ekolohichne pravo Ukrainy* [Ecological law of Ukraine]. Tsentr uchbovoi literatury.

12. Tereshchuk, O. I., Movenko, V. I. (2014). *Hidrolohichni rezhym ta ekolohichni stan r. Desna v mezhakh Chernihivskoi oblasti* [Hydrological regime and ecological status of the Desna River within the Chernihiv region]. Proceeding from *Novitni dosiahnennia heodezii, heoinformatyky ta zemlevporiadkuvannia – yevropeyskyi dosvid: materialy Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Latest achievements of geodesy, geoinformatics and land management – European experience: materials of the International scientific-practical conference, 10* (pp. 62-71). Vydavnytstvo Chernihivskoho derzhavnoho instytutu ekonomiky i upravlinnia.

Отримано 02.08.2021

UDC 502.175(282.247.324)

**Victor Movenko**

Senior Lecturer of Department of Geodesy, Cartography and Land Management  
National University Chernihiv Polytechnic (Chernihiv, Ukraine)

E-mail: [viktor.movenko@gmail.com](mailto:viktor.movenko@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3395-3476>

**MONITORING OF ECOLOGICAL CONDITION OF THE DESNA RIVER BASIN**

*In recent decades, the problems of the ecological state of the environment are increasingly worrying the modern population of the globe. The growing threat of global warming, melting glaciers, climate change require emergency measures in all countries of the Earth. Given the above, the study of water resources, their ecological status, the degree of pollution and the formation of water runoff of rivers, which are used for various needs of the population, is of great importance.*

*The study of the ecological condition of the rivers of the Desna basin requires constant monitoring of both water bodies and enterprises that can discharge polluted runoff into the rivers of the Chernihiv region.*

*During the preparation of the article, the latest publications and open-access reports on the problems of monitoring the ecological condition of water resources were considered.*

*Performing research to monitor the ecological status of the rivers of the Desna Basin requires constant monitoring of water bodies in the Chernihiv region, the state of their pollution by industrial enterprises, the impact of precipitation and groundwater levels in the controlled area.*

*The article considers the issues of complex monitoring of the ecological condition of the rivers of the Desna basin, their characteristics, industrial enterprises that have the greatest impact on the condition of reservoirs of the Chernihiv region, ways to improve the ecological condition of water resources.*

*The analysis of the ecological condition of the rivers of the Desna basin allowed to identify the most dangerous industrial enterprises for water resources of Chernihiv region, to raise the problems of deterioration of water bodies, to find ways to improve the ecological condition of the environment.*

**Keywords:** aquatic resources; ecological condition; environment; Desna river; Desna basin.

*Fig.: 2. References: 12.*



**Олексій Терещук<sup>1</sup>, Сергій Крячок<sup>2</sup>, Вадим Беленок<sup>3</sup>,  
Людмила Мамонтова<sup>4</sup>, Олена Бойко<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту архітектури, дизайну та геодезії  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [olexter1957@gmail.com](mailto:olexter1957@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6433-9351>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії та землеустрою  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [geodesist2015@gmail.com](mailto:geodesist2015@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

<sup>3</sup>кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою  
Національний авіаційний університет (Київ, Україна).  
E-mail: [belenok.vadim@gmail.com](mailto:belenok.vadim@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5357-7493>

<sup>4</sup>старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)  
E-mail: [liudmila\\_mamontova@gmail.com](mailto:liudmila_mamontova@gmail.com). ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4144-5261>

<sup>5</sup>старший викладач кафедри аерокосмічної геодезії та землеустрою  
Національний авіаційний університет (Київ, Україна).  
E-mail: [boyko\\_lena@ukr.net](mailto:boyko_lena@ukr.net). ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8654-9392>

## ПРИСТРІЙ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ВЕРТИКАЛІ НА БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ АЕРОЗНІМАННЯ

На рівні корисної моделі розроблено функціональну схему пристрою для визначення положення вертикалі підвищеної точності для застосування на літальних апаратах, зокрема на БПЛА, та принцип роботи пристрою. Наведено формули для розрахунку габаритів герметичної ампули оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту залежно від чутливості стосовно положення рідинного горизонту та розмірів ампули. Розрахунки показують, що розроблений пристрій може мати чутливість положення рідинного горизонту (вертикалі) від кількох одиниць кутових секунд. Реалізація розробленого пристрою дозволить підвищити точність визначення тангажу та крену й у підсумку підвищити точність координатної інформації, отриманої методом аерознімання.

**Ключові слова:** безпілотний літальний апарат; аерознімання; давач вертикалі (горизонту); тангаж; крен.

Рис.: 8. Бібл.: 19.

**Актуальність теми дослідження.** Нині застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) завойовує дедалі більше сфер людської діяльності. Відоме використання БПЛА у військовій справі – для ведення розвідки та виявлення наземних цілей супротивника, нанесення точкових контрольованих авіоударів по вогневих засобах, ведення радіоелектронної боротьби [1]. В археології БПЛА використовуються для картографування територій археологічних пам'яток та встановлення їхніх меж, для пошуку слабовиражених у рельєфі місцевості архітектурних об'єктів старовини [2; 3]. Відоме застосування БПЛА для визначення об'ємів накопичення відходів на полігоні твердих побутових відходів за результатами аерознімання [4]. У лісовому господарстві БПЛА застосовуються для визначення характеристик деревостою, пошуку місць займання [5; 6]. Просторові данні, отримані за допомогою аерознімання з БПЛА, використовуються для віртуального моделювання складних наземних об'єктів та міських ландшафтів [7]. Вивчення рельєфу водної поверхні наразі є ефективним з використанням аерознімання з низьких висот із використанням БПЛА [8]. У землеустрої відоме застосування БПЛА для координування меж об'єктів нерухомості та аерознімання угідь – для створення топографічної основи кадастрових планів і визначення площ угідь та виконання оціночних робіт [9]. Виконання великомасштабного аерознімання невеликих за площею територій в масштабах 1:2000, 1:1000, 1:500 наразі виконується за допомогою БПЛА [10]. Крім того, аерознімання з БПЛА на малих висотах дозволяє виявляти дефекти аеродромних покриттів [11].

Якщо підсумувати наведене, то крім огляду місцевості з висоти пташиного польоту, основним завданням застосування БПЛА є отримання координатної інформації про об'єкти місцевості.

**Постановка проблеми.** Для отримання тривимірної моделі місцевості та картографічної основи у вигляді ортофотопланів необхідно визначати так звані елементи зовнішнього орієнтування кожного аерознімка, а саме: просторові координати центра проекції та три кутові елементи – крен, тангаж та курс. Нині для визначення просторових координат центра проекції аерознімка (вузлової точки об'єктива цифрової знімальної камери) у момент знімання використовуються GPS-приймачі, які розташовані на борту БПЛА. Для визначення крену, тангажу та курсу використовуються бортові інерційні системи. Застосовують також гіростабілізовані платформи, які дозволяють утримувати площину ПЗЗ-матриці цифрової камери у положенні, близькому до горизонтального. У будь-якому з цих випадків для визначення чи контролю тангажу та крену використовуються пристрої, які можуть мати давачі істинної вертикалі (горизонту). Отже, підвищення точності результатів аерознімання через підвищення точності визначення тангажу та крену БПЛА, у цих випадках безпосередньо залежить від точності відтворення істинної вертикалі (горизонту).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомий пристрій для побудови вертикалі на основі фізичного або математичного маятника. Пристрій містить: маятник; акселерометр; блок додаткової інформації про параметри кутового переміщення корпусу, зв'язаного з основою маятника, в саме: кут відхилення, кутова швидкість та кутове прискорення корпусу (основи) маятника відносно осі підвісу маятника; блок зворотного зв'язку по вихідному сигналу. Позитивний результат полягає у підвищенні стійкості до збурюючих горизонтальних прискорень за рахунок корегуючи зусиль на рух маятника від акселерометра, давачів кутового руху основи маятника та зворотних зв'язків [12]. Недоліком пристрою є низька точність фіксації вертикалі, яка становить  $\delta = 0,99 - 0,35$  кутових градусів [12].

Відомий пристрій для визначення кутової орієнтації рухомого об'єкту (носія) відносно місцевої вертикалі у вигляді безплатформової інерційної вертикалі [13]. Пристрій містить: триканальний блок давачів кутових відхилень; триканальний блок лінійних аксельрометрів; блок обчислення вертикалі; дискретний блок Вінера; блок обчислення кутових швидкостей; блок перемикавання режимів руху носія; блок обчислення третьої проекції лінійного прискорення. Особливістю роботи пристрою є те, що в залежності від режиму роботи рухомого об'єкту: прямолінійний рівномірний рух, розгін, гальмування, поворот по куту тангажу чи поворот по куту курсу, – використовується для визначення положення вертикалі один, два чи три канали блока лінійних аксельрометрів та визначаються відповідно: три проекції сили ваги Землі  $g_x, g_y, g_z$ ; дві проекції  $g_y, g_z$ ; одну проекцію  $g_x$ ; дві проекції  $g_x, g_z$ . Визначення складових проекцій сили при цьому виконують за формулами

$$g_x = \sqrt{g^2 - g_y^2 - g_z^2}, \quad (1)$$

$$g_y = \sqrt{g^2 - g_x^2 - g_z^2}. \quad (2)$$

Недоліком наведеного пристрою є те, що обчислення вектору прискорення сили ваги  $g$  за допомогою дискретного фільтру Вінера за її проекціями  $g_x, g_y, g_z$  виконується лише на траєкторії прямолінійного рівномірного руху носія, а на траєкторії з іншим режимом руху необхідні значення проекцій для побудови вертикалі обчислюються за формулами (1) чи (2), які містять значення вектора  $g$ , обчисленого раніше і обов'язково на прямолінійній траєкторії. Однак відомо, що значення модулю та напрямку вектора  $g$  прискорення сили ваги залежить від географічних координат та висоти носія відносно поверхні Землі [14]. Це призведе до похибок у визначенні значень тангажу  $\theta$  і крену  $\gamma$ , які обчислюються за формулами (3) та (4) [15] у точках траєкторії, де носій рухається нерівномірно та непрямолінійно

$$\theta = \operatorname{frctg} \left( \frac{g_x}{\sqrt{g_y^2 + g_z^2}} \right), \quad (3)$$

$$\gamma = -\operatorname{arctg} \left( \frac{g_z}{g_y} \right). \quad (4)$$

Найбільш близьким аналогом розробленого пристрою, взятого за прототип, є пристрій для визначення вертикалі на рухомому об'єкті, який містить: оптико-електронний блок вимірювання положення рідинного горизонту з герметичною ампулою, частково заповнену рідиною у вигляді рівня, багатоеlementний оптико-електронний давач та підсвітку; гіроскопічний блок, який разом з оптико-електронним блоком вимірювання положення рідинного горизонту закріплені на єдиній платформі; двокоординатний давач вимірювання положення осі гіроскопа; електронний блок курування; блок обробки інформації [16].

Застосування відомого пристрою для визначення вертикалі на рухомому об'єкті, взятого за прототип, має той недолік, що для відтворення істинної вертикалі використовується круглий рівень, який забезпечує точність побудови вертикалі лише до однієї – двох кутових мінут [16].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз відомих пристроїв свідчить про низьку точність та надійність відтворення вертикалі на рухомих об'єктах, що обумовлює і низьку точність визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування аерознімка – тангажу та крену, що у свою чергу знижує точність визначення координат об'єктів, зображених на кінцевих продуктах аерознімання - тривимірних моделях місцевості.

**Мета статті.** Головною метою цієї статті є розробка функціональної моделі пристрою для визначення положення вертикалі підвищеної точності для застосування на літальних апаратах, призначених для аерознімання, зокрема на БПЛА.

**Виклад основного матеріалу.** Нами запропоновано технічне рішення пристрою для визначення положення вертикалі на рухомому об'єкті на рівні корисної моделі [17]. Істинна вертикаль (горизонт) відтворюється в оптико-електронному блоці вимірювання положення рідинного горизонту, поперечний розріз якого наведено на рис. 1. Якщо дно ампули 1, а разом з ним і площина платформи 3, яка встановлена на рухомий об'єкт, займуть паралельне положення відносно поверхні непрозорої рідини 5, то внаслідок підсвіткі багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 7 та 7', які розташовані вище непрозорої рідини, буде зафіксовано положення вертикалі у напрямку 7 – 7'.

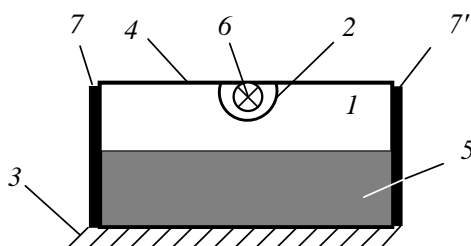


Рис. 1. Поперечний розріз оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту:

- 1 – оптико-електронний блок вимірювання положення рідинного горизонту;  
 2 – прозорий захисний герметичний ковпак; 3 - платформа; 4 – герметична ампула;  
 5 – непрозора рідина; 6 – підсвітка; 7, 7' – перша пара багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу, наприклад ПЗЗ-лінійки

Герметична ампула 4 має форму циліндра (рис. 2), на зовнішніх твірних якого в діаметрально-протилежних напрямках розташовані попарно багатоеlementні оптико-електронні давачі лінійного типу 7 і 7' та 8 і 8'. Стінки циліндра в місцях розташування вказаних давачів повинні бути прозорими – для потрапляння на них світла від підсвітки 6.

Функціонування пристрою для визначення положення вертикалі на рухомому об'єкті полягає в наступному (рис. 3). Єдину основу 3, на якій закріплені оптико-електронний блок вимірювання положення рідинного горизонту 1, встановлюють жорстко на рухливий об'єкт та орієнтують відносно головних осей рухомого об'єкта. Причому першу пару багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 7 та 7' встановлюють, наприклад, вздовж поздовжньої осі, а другу пару багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 8 та 8' - вздовж поперечної осі рухомого об'єкта.

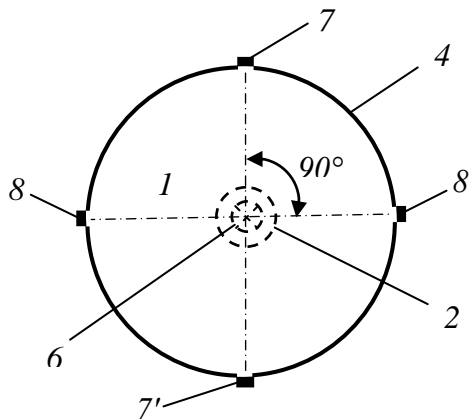


Рис. 2. Розріз оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту по діаметру:

8, 8' – друга пара багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу, наприклад, ПЗЗ-лінійки

На відрізках траєкторії, що відповідають рівномірному переміщенню рухомого об'єкта, положення рідинного горизонту відносно дна герметичної ампули 4 (рис. 3) визначається в оптико-електронному блоці вимірювання положення рідинного горизонту 1. Унаслідок освітлення підсвіткою 6 частин першої пари багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 7 та 7', які знаходяться над непрозорою рідиною 5, сигнали від них надходять, відповідно, до двоканального аналогово-цифрового перетворювача 11 та інвертора фази сигналу 9. Інвертор 9 змінює фазу сигналу від давача 7' на 180°, після чого цей сигнал надходить до двоканального аналогово-цифрового перетворювача 11. Далі, сигнали у цифровому вигляді, кожний по своєму каналу, надходять до блоку керування 13, а звідти – до блока обробки інформації 14.

У блоці обробки інформації 14 виконується опрацювання цифрових значень сигналів окремо від першої та другої пари багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу та визначаються положення поверхні непрозорої рідини 5 відносно дна ампули у двох взаємно перпендикулярних напрямках 7 - 7' та 8 - 8' у вигляді сигналу X та Y відповідно.

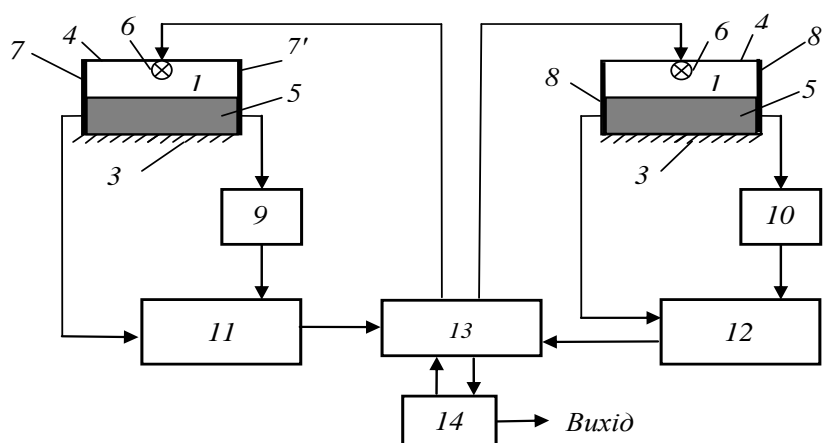


Рис. 3. Блок-схема запропонованого пристрою:

9 – інвертор фази сигналу першої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу; 10 – інвертор фази сигналу другої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу; 11, 12 – двоканальні аналогово-цифрові перетворювачі першої пари та другої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу; 13 – електронний блок керування; 14 – блок обробки інформації

Таким чином, під час польоту мають місце дискретні часові зони, в яких контролюється положення рухомого об'єкта за допомогою оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту 1. Ці дискретні зони відповідають рівномірним ділянкам руху носія, до яких відносяться маршрути (галси) аерознімання території, оскільки переміщення вздовж галсу, як правило, відбувається за прямолінійним напрямком. Тож, на таких ділянках обчислюють середнє положення непрозорої рідини 5 відносно дна герметичної ампули 4 шляхом фіксації щонайменше трьох послідовних крайніх положень поверхні рідини у кожній парі багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу.

У такий спосіб у блоці обробки інформації 14 (див. рис. 3) на виході формується сигнал  $A = f(X, Y)$  про положення рідинного горизонту (вертикалі), прив'язаний до часової шкали, та будується графік значень тангажу і крену, який використовують для визначення кутових елементів зовнішнього орієнтування в моменти фотографування місцевості цифровою камерою, чи для керування положенням носія у просторі. Вплив невеликих величин прискорень на положення поверхні непрозорої рідини 5 виключають (або значно послаблюють) обчисленням середнього її положення.

Особливості застосування оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту 1 для визначення значень тангажу та крену рухомого об'єкта полягають у наступному. У лабораторних умовах виконують тарування - визначають значення місць нулів ( $MO$ ) багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8' :  $MO_7, MO_{7'}, -MO_8, MO_{8'}$  (рис.4). Місце нуля – число  $n$  комірок багатоелементного оптико-електронного давача, на які потрапило світло джерела 6, коли дно герметичної ампули 4 оптико-електронного блока 1 знаходиться в горизонтальному положенні. Для цього єдину основу 3 встановлюють на горизонтальну основу, вмикають блок керування 13, за командою з якого вмикається підсвітка 6 (рис. 3), світло від якої потрапляє на комірки верхніх частин першої та другої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8', які не затінені непрозорою рідиною 5.

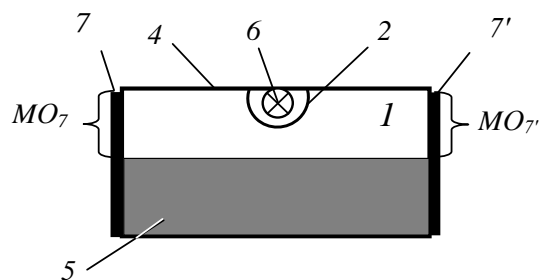


Рис. 4. Поперечний розріз оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту, розташованого в горизонтальному положенні:

$MO_7$  та  $MO_{7'}$  – місця нулів багатоеlementного оптико-електронного давача лінійного типу 7 та 7'

Електричні сигнали від кожної пари потрапляють у інвертори фази сигналу багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 9 та 10 і двоканальні аналогово-цифрові перетворювачі 11 та 12, а потім через блок керування 13 до блока обробки інформації 14, у якому знаки сигналів у числовому вигляді міняються на протилежні та зберігаються в комірках пам'яті як:  $-MO_7$ ,  $MO_{7'}$ ,  $-MO_8$  та  $MO_{8'}$ .

Єдину основу 3 встановлюють на рухомий об'єкт, орієнтуючи відносно головних осей рухливого об'єкта.

Нахил дна герметичної ампули 4 оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту 1 на кут  $\alpha$  відносно горизонту за напрямком 7 - 7' (рис. 5) веде до освітлення  $n_7$  комірок та  $n_{7'}$  комірок верхніх частин першої пари багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7', які не затінені непрозорою рідиною 5. З фіг. 4 зрозуміло, що

$$n_7 = MO_7 + n_\alpha, \quad (1)$$

де  $n_\alpha$  – кількість комірок, на які освітлені додатково відносно  $MO_7$  за рахунок нахилу корпусу герметичної ампули 4 на кут  $\alpha$  на багатоеlementному оптико-електронному давачі лінійного типу 7,

$$n_{7'} = MO_{7'} - n_\alpha, \quad (2)$$

де  $-n_\alpha$  – число комірок, на які неосвітлені відносно  $MO_7$  за рахунок нахилу корпусу герметичної ампули 4 на кут  $-\alpha$  на багатоеlementному оптико-електронному давачі лінійного типу 7'.

Після проходження інвертора фази сигналу 9 (див. рис. 3) електричний сигнал, пропорційний числу освітлених комірок на багатоеlementному оптико-електронному давачі лінійного типу 7', поміняє фазу сигналу на протилежну, тобто

$$-n_{7'} = n_\alpha - MO_{7'}, \quad (3)$$

Після перетворення цього електричного сигналу та електричного сигналу від багатоеlementного оптико-електронного давача лінійного типу 7 у цифровий вигляд за допомогою двоканального аналогово-цифрового перетворювача першої пари багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 11, ці цифрові сигнали надходять через блок керування 13 до блока обробки інформації 14, в якому визначається сума цих сигналів та значень  $-MO_7$ ,  $MO_{7'}$  - видобутих з його пам'яті, та отримують результуючий сигнал  $X$

$$X = n_7 + (-n_{7'}) - MO_7 + MO_{7'} = 2n_\alpha + MO_7 - MO_{7'} - MO_7 + MO_{7'} = 2n_\alpha. \quad (4)$$

Аналогічним чином отримують результуючий сигнал  $Y$  від другої пари багатоеlementних оптико-електронних давачів лінійного типу 8 та 8'

$$Y = n_8 + (-n_{8'}) - MO_8 + MO_{8'} = 2n_\alpha + MO_8 - MO_{8'} - MO_8 + MO_{8'} = 2n_\alpha. \quad (5)$$

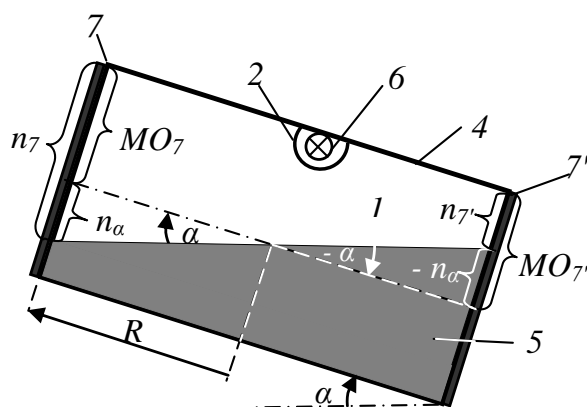


Рис. 5. Нахил дна ампули оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту на кут  $\alpha$  відносно горизонту:

$\alpha$  – кут нахилу до верху корпусу 4 оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту за напрямком  $7' - 7$  відносно рідинного горизонту;  $n_7, n_{7'}$  – число комірок оптико-електронних давачів лінійного типу 7 та  $7'$ , на які потрапило світло джерела 6;  $n_\alpha, -n_\alpha$  – число комірок оптико-електронних давачів лінійного типу 7 та  $7'$ , які відповідають нахилу герметичної ампули 4 на кут  $\alpha$ ;  $R$  – радіус герметичної ампули 4

Нахил дна герметичної ампули 4 оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту 1 на кут  $-\alpha$  відносно горизонту за напрямком  $7 - 7'$  (рис. 6) веде до освітлення  $n_7$  комірок та  $n_{7'}$  комірок верхніх частин першої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7,  $7'$ , які не затінені непрозорою рідиною 5. З рис. 6 зрозуміло, що

$$n_7 = MO_7 - n_\alpha, \quad (6)$$

та

$$n_{7'} = MO_{7'} + n_\alpha. \quad (7)$$

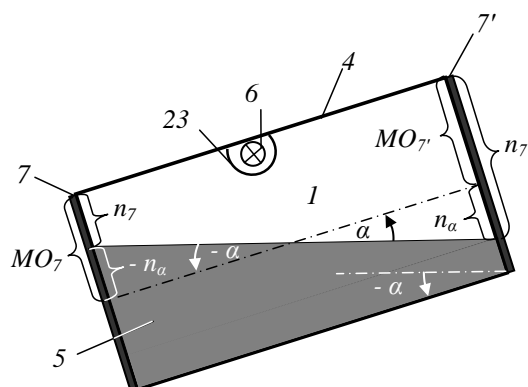


Рис. 6. Нахил дна ампули оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту на кут  $-\alpha$  відносно горизонту за напрямком  $7 - 7'$

Після зміни фази сигналу на протилежну інвертором фази сигналу 9 (див. рис. 3), перетворення цього електричного сигналу та електричного сигналу від багатоелементного оптико-електронного давача лінійного типу 7 у цифровий вигляд за допомогою двоканального аналогово-цифрового перетворювача першої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 11, ці цифрові сигнали надходять через

блок керування 13 до блоку обробки інформації 14, в якому визначається сума цих сигналів та значень  $-MO_7$ ,  $MO_{7'}$ , видобутих з його пам'яті, та отримують результуючий сигнал  $X$  у вигляді

$$X = n_7 + (-n_{7'}) - MO_7 + MO_{7'} = -2n_\alpha + MO_7 - MO_{7'} - MO_7 + MO_{7'} = -2n_\alpha, \quad (8)$$

Аналогічним чином отримують результуючий сигнал  $Y$  від другої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 8 та 8' у вигляді

$$Y = n_8 + (-n_{8'}) - MO_8 + MO_{8'} = -2n_\alpha + MO_8 - MO_{8'} - MO_8 + MO_{8'} = -2n_\alpha. \quad (9)$$

Як видно з формул (4), (5) та (8), (9), оптико-електронний блок вимірювання положення рідинного горизонту 1 відслідковує величину та напрямом тангажу (сигнал  $X$ ) і крену (сигнал  $Y$ ) єдиній основі – 3 відносно рідинного горизонту (вертикалі), причому, сигнали  $X_7$  та  $Y_8$  фіксують подвійне значення засвічених комірок  $n_\alpha$ , які відповідають куту нахилу  $\alpha$ .

З рис. 5 можна визначити співвідношення між величиною кута нахилу  $\alpha$  герметичної ампули 4 відносно горизонту, її розміром, наприклад її радіусом  $R$  та величиною сигналу

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{kn_\alpha}{R}, \quad (10)$$

де  $k$  – фізичний розмір комірки багатоелементного оптико-електронного давача лінійного типу

Оскільки сигнали  $X$  фіксує подвійне значення засвічених комірок  $n_\alpha$ , які відповідають куту нахилу  $\alpha$ , то перехід до лінійних розмірів багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу, наприклад, 7, 7' надає вираз

$$X' = 2kn_\alpha. \quad (11)$$

Щоб визначити значення кута нахилу  $\alpha$  у відповідності до формули (10), необхідно

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2kn_\alpha}{2R} = \frac{X'}{2R} = \frac{X'}{D}, \quad (12)$$

де  $D$  – діаметр герметичної ампули, а для малих значень  $\alpha$

$$\alpha'' = \frac{X'}{D} \rho'', \quad (13)$$

де  $\rho'' = 206265''$

Якщо вважити, що найменший сигнал, який фіксують багатоелементні оптико-електронного давач лінійного типу, наприклад, 7, 7', відповідає одному фотоприймальному елементу, то для засвіченої половини комірки ( $n_\alpha = 0,5$ ) сигнал дорівнює  $X = 2 \cdot 0,5 = 1$ , а в лінійному розмірі  $X' = 2k \cdot 0,5 = k$  – один фотоприймальний елемент. З урахуванням малого значення  $\alpha$  з формули (13) можна визначити роздільну здатність блоку вимірювання положення рідинного горизонту 1 стосовно реєстрації найменшого кута нахилу герметичної ампули 4 разом з єдиною основою 3 за окремим напрямком відносно горизонту (значення тангажу чи крену) за формулою

$$\beta'' = \frac{k}{D} \rho'' \quad (14)$$

де  $D$  – діаметр герметичної ампули.

Розмір герметичної ампули 4 для заданого значення роздільної здатності можна визначити згідно з (14) за формулою

$$D = \frac{k}{\beta''} \rho''. \quad (15)$$



Наприклад, для розміру фотоприймального елементу  $k = 6,5$  мкм [7] та  $\beta = 30''$  діаметр герметичної ампули 4  $D = 44,7$  мм, а для  $\beta = 10''$   $D = 34$  мм. Тобто підбором розміру герметичної ампули 4 можна регулювати роздільну здатність оптико-електронного блоку положення рідинного горизонту 1 за відомого розміру фотоприймального елементу стосовно вимірювання кутів тангажу та крену, а відповідно і точність їх визначення.

В дискретних зонах переміщення носія, коли після прискорення носій рухається рівномірно, поверхня непрозорої рідини 5 буде виконувати затухаючі коливання відносно горизонтального положення – положення динамічної рівноваги поверхні рідини, що буде рееструватися у кожній парі багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8'. Тому в основу обчислень середнього положення поверхні непрозорої рідини 5 відносно дна герметичної ампули 4 покладено програму спостереження точок реверсії для визначення положення рівноваги чутливого елементу гіротеодоліту [18]. Для пришвидшення визначення положення динамічної рівноваги можна використати програму спостережень, як мінімум, за трьома точками реверсії – трьома послідовними крайніми положеннями поверхні непрозорої рідини 5:  $n_1 - n'_1$ ;  $n_2 - n'_2$ ;  $n_3 - n'_3$  (рис. 7).

Точки реверсії будуть зафіксовані в блоці обробки інформації 14 цифровими сигналами: перша точка – сигналом  $X_1 = 2n_1$ , друга точка – сигналом  $X_2 = 2n_2$ , третя точка – сигналом  $X_3 = 2n_3$ .

Положення динамічної рівноваги визначається у блоці обробки інформації 14 за умови, що оптико-електронний блок вимірювання положення рідинного горизонту 1 працює в допустимому діапазоні роботи  $X_D$ , (точніше в діапазоні, який більше  $X_D$  на величину подвійної роздільної здатності блоку вимірювання положення рідинного горизонту 1) та виконується умова

$$|X_3| < X_1 \tag{16}$$

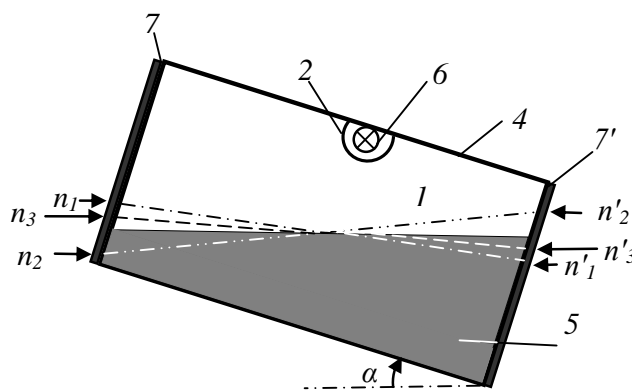


Рис. 7. Розташування точок реверсії поверхні непрозорої рідини - крайніх положень коливних рухів поверхні непрозорої рідини 5:  $n_1 - n'_1$ ;  $n_2 - n'_2$ ;  $n_3 - n'_3$ ; відносно горизонту за напрямком 7 - 7'

Тоді за формулами, отриманими на основі джерела [18] сигнал, який відповідає горизонтальному положенню поверхні непрозорої рідини, дорівнює:

$$X_0 = N_1 + (X_3 - X_1) \frac{\Delta f}{8}, \tag{17}$$

де

$$N_1 = \frac{1}{2} \left( \frac{X_1 + X_2}{2} + \frac{X_2 + X_3}{2} \right) = \frac{X_1 + 2X_2 + X_3}{4}, \tag{18}$$

$$\Delta f = \frac{X_1 - X_3}{X_3 - X_2}. \quad (19)$$

Для розмаху коливань точок реверсії до  $60^\circ$ , згідно з [18],  $\Delta f \leq 0,2''$ . Тому у цьому випадку наведені формули спрощуються до вигляду робочої формули

$$X_0 = \frac{1}{2} \left( \frac{X_1 + X_2}{2} + \frac{X_2 + X_3}{2} \right) = \frac{X_1 + 2X_2 + X_3}{4}. \quad (20)$$

З урахуванням переходу до лінійних розмірів багатоелементних оптико-електронного давачів лінійного типу 7, 7'

$$X'_0 = kX_0. \quad (21)$$

Величина відхилення єдиної основи 3 від горизонту в напрямку поздовжньої осі (значення тангажу) згідно з (13) дорівнює

$$\theta = \operatorname{arctg} \left( \frac{X'_0}{D} \right). \quad (22)$$

Величина відхилення єдиної основи 3 від горизонту в напрямку поперечної осі (значення крену) визначається за формулами (16) – (22) заміною:  $X_1 \rightarrow Y_1$ ,  $X_2 \rightarrow Y_2$ ,  $X_3 \rightarrow Y_3$  та обчислених значень:  $X_0 \rightarrow Y_0$ ,  $X'_0 \rightarrow Y'_0$ , отже

$$\gamma = \operatorname{arctg} \left( \frac{Y'_0}{D} \right). \quad (23)$$

Визначення точок реверсії в напрямку крену і тангажу за сигналами першої та другої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8' та їх обчислення у блоці обробки інформації 14 виконується паралельно в часі.

Діапазон кутових значень тангажу та крену визначається підбором довжини  $l$  багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8'. Так, якщо

$$l = 2kn_\alpha, \quad (24)$$

то з урахуванням формули (10)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{D}. \quad (25)$$

звідки

$$l = D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad (26)$$

а чисельність комірок багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8', які потрібні для фіксації максимального значення кута  $\alpha$ , згідно з формулою (24), дорівнює

$$n_{\alpha, \max} = \frac{l}{2k}, \quad (27)$$

а повне число комірок багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу 7, 7' та 8, 8', які потрібні для фіксації значення кутів від  $+\alpha$  до  $-\alpha$ , становить

$$n = \frac{l}{k}. \quad (28)$$

Наприклад, для значень тангажу та крену  $\alpha = 10^\circ$  [19], діаметра ампули  $D = 44,7$  мм згідно з (26)  $l = 7,88$  мм, що для  $k = 0,0065$  мм згідно з (28)  $n = 1213$  комірок (пікселів), а для  $D = 134$  мм,  $l = 23,6$  мм,  $n = 3631$  комірка (піксель).

Допустимий діапазон роботи оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту  $l$  за результатами обробки результуючого сигналу у блоці обробки інформації  $14$  визначається за формулою

$$\pm X_{\text{д}} = \pm 2n_{\alpha, \max} = \pm \frac{l}{k} . \quad (29)$$

У випадку, якщо рівень непрозорої рідини  $5$  зменшиться, наприклад, через зменшення розмірів ампули внаслідок її охолодження, а визначення значень місць нулів (рис. 8) виконані за іншого рівня рідини ( за більш високої температури), то це приведе до зміни значень місць нулів  $MO_7, MO_{7'}$  на величину  $\Delta MO$ . Тоді нові значення місць нулів дорівнюватимуть

$$MO'_7 = MO_7 + \Delta MO , \quad (30)$$

$$MO_{7'} = MO_{7'} + \Delta MO \quad (31)$$

Після зміни фази сигналу від багатоелементного оптико-електронного давача лінійного типу  $7'$  на протилежну інвертором фази сигналу  $9$  (рис. 3), перетворення цього електричного сигналу та електричного сигналу від багатоелементного оптико-електронного давача лінійного типу  $7$  у цифровий вигляд за допомогою двоканального аналогово-цифрового перетворювача першої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу  $7, 7'$ , ці цифрові сигнали ( $MO'_7, - MO_{7'}$ ) надходять через блок керування  $13$  до блока обробки інформації  $14$ , в якому визначається сума цих сигналів та значень  $- MO_7, MO_{7'}$ , видобутих з його пам'яті, та отримують результуючий сигнал з урахуванням (34) та (35) у вигляді

$$MO'_7 - MO_{7'} - MO_7 + MO_{7'} = MO_7 + \Delta MO - MO_{7'} - \Delta MO - MO_7 + MO_{7'} = 0 . \quad (32)$$

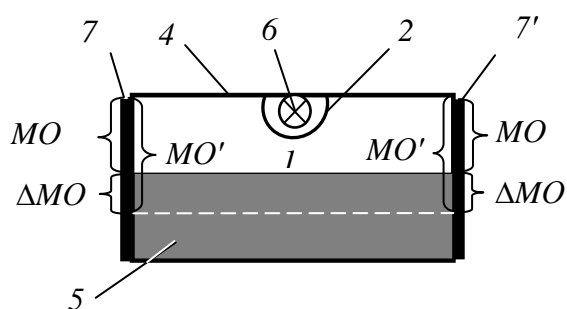


Рис. 8. Вплив зменшення рівня непрозорої рідини на відліки місць нулів:  $MO_7, MO_{7'}$  - значення місць нулів – першої пари багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу до зміни рівня непрозорої рідини  $5$ ;  $MO'_7, MO_{7'}$  - значення місць нулів цих же багатоелементних оптико-електронних давачів лінійного типу після зміни рівня непрозорої рідини  $5$ ;  $\Delta MO$  – зміна значення місця нуля

Тобто зменшення (збільшення) рівня непрозорої рідини  $5$  не впливає на результуюче значення сигналу. Отже оптико-електронний блок вимірювання положення рідинного горизонту  $l$  не чутливий до зміни рівня непрозорої рідини  $5$  у герметичній ампулі  $4$ , наприклад, внаслідок зміни об'єму герметичної ампули через зміну температури навколишнього середовища.

Якщо пристрій для визначення вертикалі на рухомому об'єкті розташовано на дистанційно керованому об'єкті, то для його функціонування необхідно, щоб електронний блок керування 13 був електрично зв'язаний з блоком керування самого рухомого об'єкту, що забезпечить дистанційне керування роботою пристрою, та відправлення отриманої інформації на станцію спостереження, а за необхідності за значеннями тангажу та крену, отриманими в електронному блоці керування 14 виконувати виправлення значень тангажу та крену рухливого об'єкту до мінімальних значень.

**Висновки.** На рівні корисної моделі розроблено функціональну схему пристрою для визначення положення вертикалі підвищеної точності для застосування на літальних апаратах, призначених для аерознімання, зокрема на безпілотних літальних апаратах. Наведено формули для розрахунку габаритів герметичної ампули оптико-електронного блоку вимірювання положення рідинного горизонту залежно від чутливості стосовно просторового положення рідинного горизонту та розмірів ампули. Априорні розрахунки показують, що розроблений пристрій може мати чутливість стосовно положення рідинного горизонту (вертикалі) від кількох одиниць кутових секунд. Дано математичне обґрунтування визначення положення динамічної рівноваги поверхні рідини під час її затухаючих коливань у герметичній ампулі на основі теорії визначення положення рівноваги чутливого елемента гіротеодоліту, що суттєво скорочує час на індикацію просторового положення рідинного горизонту на ділянках рівномірного переміщення носія знімальної апаратури. Реалізація даної розробки дозволить підвищити точність визначення тангажу та крену носія знімальної апаратури та у підсумку підвищити точність отримання координатної інформації, отриманої методом аерознімання.

#### Список використаних джерел

1. Hlotov V. Analysis of application of the UAVs for military tasks / Hlotov V., Hunina A., Kniziev S., Kolesnichenko V., Prokhorchuk O. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2019. – Вип. I (37). – С. 69-77.
2. Федорук А. С. Определение границ археологических памятников с использованием БПЛА-съёмки: опыт решения задач на примере горного Алтая / А. С. Федорук, Д. В. Панин, Е. В. Крупочкин, С. И. Суханов // Теория и практика археологических исследований. – 2021. – Т. 33, № 2. – С. 32-44.
3. Аерофотосъёмка с БПЛА в поисковых задачах археологии: обзор и практические примеры / Е. В. Балков, Ю. Г. Карин, О. А. Позднякова, И. О. Шапаренко, Д. А. Гоглев // Геофизические технологии. – 2020. – № 3. – С. 38-47. DOI: 10.18303/2619-1563-2020-3-38.
4. Методика визначення об'єму Львівського полігону ТПВ з використанням архівних картографічних матеріалів та БПЛА TRIMBLE UX-5 / В. А. Лозинський, В. І. Нікулішин, К. Р. Третяк, Є. О. Шило // Геодезія, картографія і аерознімання. – 2016. – Вип. 83. – С. 64-82.
5. Иванов Н. В. Определение характеристик смешанных древостоев по данным аэрофотосъёмки с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / Н. В. Иванов, М. П. Шашков, В. Н. Шанин // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2021. – № 54. – С. 158-175.
6. Горелова Д. А. Преимущества использования беспилотных летательных аппаратов по сравнению с аэрокосмическим мониторингом в лесном хозяйстве [Электронный ресурс] / Д. А. Горелова, М. А. Горелова // Студенческий вестник. – 2020. – № 11 (109). – С. 28-31. – Режим доступа: <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/109>.
7. Рыльский И. А. Совместное использование технологий БПЛА и наземного лазерного сканирования для создания объектно-ориентированных виртуальных моделей / И. А. Рыльский, Д. А. Парамонов, М. С. Малеванная // Геоинформационные технологии и дистанционные методы исследования Земли. – 2019. – Т. 25. – С. 398-413.
8. Определение спектральных характеристик взволнованной водной поверхности по цифровым фотографиям, полученным с БПЛА / В. А. Малинников, Д. В. Учаев, Дм. В. Учаев, А. С. Силевич // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъёмка». – 2018. – Т. 62, № 6. – С. 703-711.

9. Губар Ю. Аналіз впливу похибок положення межових знаків, отриманих за допомогою безпілотних літальних апаратів, на вартість нерухомості / Ю. Губар // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2019. – Вип. I (37). – С. 106-115.
10. Глотов В. М. Аналіз сучасних методів знімання під час опрацювання великомасштабних планів / В. М. Глотов, А. В. Гуніна // Геодезія, картографія і аерознімання. – 2016. – Вип. 83. – С. 53-63.
11. Крячок С. Сучасний стан геодезичного моніторингу аеродромних покриттів в Україні / С. Крячок // Технічні науки та технології. – 2020. – № 1 (19). – С. 305-314.
12. Петрухин В. А. Маятниковая вертикаль для беспилотного летательного аппарата [Электронный ресурс] / В. А. Петрухин, В. Е. Мельников // Труды МАИ. – 2016. – Вып. 88. – Режим доступа: [http://trudymai.ru/upload/iblock/a3d/petrukhin\\_melnikov\\_rus.pdf?lang=ru&issue=88](http://trudymai.ru/upload/iblock/a3d/petrukhin_melnikov_rus.pdf?lang=ru&issue=88).
13. Бесплатформенная инерциальная гировертикаль: пат. 154291 U1 Российская Федерация / Ю. В. Иванов, В. В. Лихошерст, А. В. Шукалов, В. Я. Распопов. – № 2014149328/28. – заявл. 08.12.2014; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23.
14. Двудіт П. Д. Гравіметрія : підручник для вузів / П. Д. Двудіт. – Львов : ЛАГТ, 1998. – 196 с.
15. Бесплатформенная инерциальная гировертикаль: пат. 96235 U1 Российская Федерация / Иванов Ю. В., Шведов Ю. В., Распопов В. Я. – № 2010108047/22. – заявл. 04.03.2010; опубл. 20.07.2010, Бюл. № 23.
16. Пристрій для визначення вертикалі на рухливому об'єкті: пат. 10397 Україна: МПК G02B13/10 / Бурачек В. Г., Крельштейн П. Д., Надточій О. В., Шульц Р. В., Якунін О. В. – № u 2005 03805. – заявл. 21.04.2005; опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.
17. Пристрій для визначення вертикалі на рухомому об'єкті: пат. на корисну модель 148680 Україна. G01D 1/00, G01C 19/18 / Беленок В. Ю., Бойко О. Л., Крячок С. Д., Мамонтова Л. С., Терещук О. І. – Заявл. 17.05.2021; опубл. 01.09.2021, Бюл. № 35.
18. Воронов Н. Н. Гироскопическое ориентирование / Н. Н. Воронков, В. В. Кутырев. М. : Недра, 1989. – 296 с.
19. Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарату / В. Глотов, А. Церклевич, О. Збруцький, В. Колісниченко, О. Прохорчук, Р. Карнаушенко, В. Галецький // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. I (27). – С. 131-136.

### References

1. Hlotov, V., Hunina, A., Kniziev, S., Kolesnichenko, V., Prokhorchuk, O. (2019). Analysis of application of the UAVs for military tasks. *Present-day Achievements of Geodesic Sciences and Production*, I(37), 69-77.
2. Fedoruk, A.S., Panin, D.V., Krupochkin, E.V., Sukhanov, S.I. (2021). Opredelenie granic arkeologicheskikh pamyatnikov s ispolzovaniem BPLA-semki: opyt resheniia zadach na primere gornogo Altaia [Determination of the boundaries of archaeological sites using UAV surveys: the experience of solving problems on the example of mountainous Altai]. *Teoriia i praktika arkeologicheskikh issledovanii – Theory and practice of archaeological research*, 33(2), 32-44.
3. Balkov, E.V., Karin, Iu.G., Pozdniakova, O.A., Shaparenko, I.O., Goglev, D.A. (2020). Aero-fotosemka s BPLA v poiskovykh zadachakh arkeologii: obzor i prakticheskie primery [Aerial photography from UAVs in search tasks of archeology: an overview and practical examples]. *Geofizicheskie tekhnologii – Russian Journal of Geophysical Technologies*, 3, 38-47. DOI: 10.18303/2619–1563–2020–3–38.
4. Lozynskiy, V.A., Nikulishyn, V.I., Tretiak, K.R., Shylo, Ye.O. (2016). Metodyka vyznachennia ob'emu Lvivskoho polihonu TPV z vykorystanniam arkhivnykh kartohrafichnykh materialiv ta BPLA TRIMBLE UX-5 [Methods for determining the volume of the Lviv landfill using archival cartographic materials and UAV TRIMBLE UX-5]. *Heodeziia, kartohrafiia i aereznimannia – Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 83, 64-82.
5. Ivanov, N.V., Shashkov, M.P., Shanin, V.N. (2021). Opredelenie kharakteristik smeshannykh drevostoev po dannym aerofotosemki s primeneniem bespilotnogo letatel'nogo apparata (BPLA) [Determination of the characteristics of mixed forest stands according to aerial photography using an unmanned aerial vehicle (UAV)]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiia – Tomsk State University Journal of Biology*, 54, 158-175.

6. Gorelova, D.A., Gorelova, M.A. (2020). Preimushchestva ispolzovaniia bespilotnykh letatelnykh apparatov po sravneniiu s aerokosmicheskim monitoringom v lesnom khoziaistve [Advantages of using unmanned aerial vehicles over aerospace monitoring in forestry]. *Studencheskii vestnik – Student bulletin*, 11(109), 28-31. <https://studvestnik.ru/journal/stud/herald/109>.
7. Rylskii, I.A., Paramonov, D.A., Malevannaia, M.S. (2019). Sovmestnoe ispolzovanie tekhnologii BPLA i nazemnogo lazernogo skanirovaniia dlia sozdaniia obektno-orientirovannykh virtualnykh modelei [Combined use of UAV and ground laser scanning technologies to create object-oriented virtual models]. *Geoinformatcionnye tekhnologii i distantsionnye metody issledovaniia Zemli – Geoinformation technologies and remote methods of Earth research*, 25, 398-413. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-398-413.
8. Malinnikov, V.A., Uchaev, D.V., Uchaev, Dm.V., Silovich, A.S. (2018). Opredelenie spektralnykh kharakteristik vzvolnovannoi vodnoi poverkhnosti po tseifrovym fotografiiam, poluchennym s BPLA [Determination of the spectral characteristics of the agitated water surface using digital photographs obtained from the UAV]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii «Geodeziia i aerofotosemka» – Proceedings of the Higher Educational Institutions «Geodesy and aerophotosurveying»*, 62(6), 703-711. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-6-703-711.
9. Hubar, Yu. (2019). Analiz vplyvu pokhybok polozhennia mezhovykh znakov, otrymanykh za dopomohoiu bezpilotnykh litalnykh aparativ, na vartist nerukhomosti [Analysis of the impact of errors in the position of boundary markers obtained with the help of unmanned aerial vehicles on the value of real estate]. *Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Present-day Achievements of Geodesic Sciences and Production*, 1(37), 106-115.
10. Hlotov, V.M., Hunina, A.V. (2016). Analiz suchasnykh metodiv znimannia pid chas opratsiuvannia velykomasshtabnykh planiv [Analysis of modern survey methods during the development of large-scale plans]. *Heodeziia, kartohrafiia i aeroznimannia – Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 83, 53-63.
11. Kriachok, S. (2020). Suchasnyi stan heodezychnoho monitorynhu aerodromnykh pokryttiv v Ukraini [Current state of geodetic monitoring of aerodrome surfaces in Ukraine]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 1(19), 305-314.
12. Petrukhin, V.A. Melnikov, V.E. (2016). Maiatnikovaia vertikal dlia bespilotnogo letatel'nogo apparata [Pendulum vertical for an unmanned aerial vehicle]. *Trudy MAI – Proceedings of the MAI*, 88. [http://trudymai.ru/upload/iblock/a3d/petrukhin\\_melnikov\\_rus.pdf?lang=ru&issue=88](http://trudymai.ru/upload/iblock/a3d/petrukhin_melnikov_rus.pdf?lang=ru&issue=88).
13. Ivanov, Iu.V., Likhosherst, V.V., Shukalov, A.V., & Raspopov, V.Ia. (2015). *Besplatformennaia inertialnaia girovertikal [Strapdown inertial gyrovertical]* (Rossiiskii patent № 154291 U1).
14. Dvulit, P. D. (1998). *Hravimetriia [Gravimetry]*. LAHT.
15. Ivanov, Iu.V., Shvedov, Iu.V., & Raspopov, V.Ia. (2010). *Besplatformennaia inertialnaia girovertikal [Strapdown inertial gyrovertical]* (Rossiiskii patent № 96235 U1).
16. Burachek, V.H., Krelshtein, P.D., Nadtochii, O.V., Shults, R.V., Yakunin, O.V. (2005). *Prystrii dlia vyznachennia vertykali na rukhlyvomu obiekti [Device for determining the vertical on a moving object]*
17. Belenok V.Iu., Boiko O.L., Kriachok S.D., Mamontova L.S., & Tereshchuk O. I. (2021). *Prystrii dlia vyznachennia vertykali na rukhomomu obiekti [Device for determining the vertical on a moving object]* (Ukrainskyi patent na korysnu model № 148680). Derzhavna sluzhba intelektualnoi vlasnosti.
18. Voronov, N. N., & Kutyrev, V. V. (1989). *Giroskopicheskoe orientirovanie [Gyroscopic orientation]*. Nedra.
19. Glotov, V., Tcerklevich, A., Zbrutckii, O., Kolisnichenko, V., Prokhorchuk, O., Karnausenko, R., Galetckii, V. (2014). Analiz i perspektyvy aeroznimannia z bezpilotnogo lital'nogo aparatu [Analysis and prospects of aerial photography from an unmanned aerial vehicle]. *Cuchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Present-day Achievements of Geodesic Sciences and Production*, 1(27), 131-136.

Отримано 08.08.2021

UDC 629.7.014: 528.71

**Oleksiy Tereshchuk<sup>1</sup>, Sergiy Kryachok<sup>2</sup>, Vadym Belenok<sup>3</sup>,  
Lyudmila Mamontova<sup>4</sup>, Olena Boiko<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor,  
Director of the Educational and Scientific Institute of Architecture, Design and Geodesy  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** [olexter1957@gmail.com](mailto:olexter1957@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6433-9351>

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor,  
Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management  
Chernihiv national University of Technology (Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** [geodesist2015@gmail.com](mailto:geodesist2015@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

<sup>3</sup>PhD in Physical and Mathematical Sciences,  
Associate Professor of Aerospace Geodesy and Land Management Department  
National Aviation University (Kyiv, Ukraine)

**E-mail:** [belenok.vadim@gmail.com](mailto:belenok.vadim@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5357-7493>

<sup>4</sup>Senior Lecturer of the Department of geodesy, cartography and land management  
Chernihiv national University of Technology (Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** [liudmila\\_mamontova@gmail.com](mailto:liudmila_mamontova@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4144-5261>

<sup>5</sup>Senior Lecturer at the Department of Aerospace Geodesy and Land Management  
National Aviation University (Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [boyko\\_lena@ukr.net](mailto:boyko_lena@ukr.net). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8654-9392>

## DEVICE FOR DETERMINING THE POSITION OF VERTICAL ON UNMANNED AIRCRAFT DESIGNED FOR AERIAL PHOTOGRAPHY

*Unmanned aerial vehicles (UAVs) are used in various spheres of human activity. However, the main task of using a UAV is to obtain coordinate information about terrain objects.*

*The accuracy of determining the coordinates based on the results of aerial photography largely depends on the accuracy of determining the spatial position of the aerial camera at the moments of photographing, which in turn depends on the values of the pitch and roll of the carrier of the survey equipment, which can be determined using vertical (horizon) sensors.*

*The analysis of known devices for reproducing the position of the vertical (horizon), which are placed on moving objects, based on the properties of a physical pendulum, using accelerometers as an indicator of the horizon of a circular level, has been carried out.*

*Analysis of the known technical solutions showed low accuracy and reliability of vertical reproduction on moving objects, which also causes low accuracy in determining the pitch and roll of the carrier, and, as a result, coordinate information.*

*The purpose of this article is to develop a functional model of the device for determining the vertical position of increased accuracy for use on aircraft intended for aerial photography, in particular with UAVs.*

*The article provides a functional diagram of a device for determining the vertical position of increased accuracy for use on aircraft and the principle of operation of the device. The mathematical substantiation of the signal values for calculating the pitch and roll values is given. Formulas for calculating the dimensions of a sealed ampoule of an optoelectronic unit for measuring the position of a liquid horizon, depending on the sensitivity with respect to the spatial position of the liquid horizon and the dimensions of the ampoule are given. Calculations showing that the developed device can be sensitive to the position of the liquid horizon (vertical) from several units of angular seconds have been performed. The determination of the position of the dynamic equilibrium of the liquid surface during damped oscillations in a sealed ampoule is mathematically substantiated, which significantly reduces the time for indicating the spatial position of the liquid horizon in the areas of uniform movement of the carrier.*

*The development is protected by a patent for a useful model, and its implementation will improve the accuracy of determining the pitch and roll of the carrier of the survey equipment and, as a result, increase the accuracy of coordinate information obtained by the method of aerial photography, including the use of UAVs.*

**Keywords:** *unmanned aerial vehicle; aerial photography; vertical (horizon) sensor; pitch; roll.*

*Fig.: 8. References: 19.*

DOI: 10.25140/2411-5363-2021-3(25)-288-296

УДК 656.01:332.3

**Роман Ванчура<sup>1</sup>, Катерина Смолій<sup>2</sup>, Оксана Серант<sup>3</sup>,  
Андрій Вітровий<sup>4</sup>, Наталія Ярема<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, старший викладач кафедри економічної експертизи та землевпорядкування  
Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна)  
E-mail: [r.vanchura@gmail.com](mailto:r.vanchura@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2782-2405>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, старший викладач кафедри економічної експертизи та землевпорядкування  
Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна)  
E-mail: [kateryna.smoliy@gmail.com](mailto:kateryna.smoliy@gmail.com). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0001-6731-1557>

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, старший викладач кафедри вищої геодезії та астрономії  
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)  
E-mail: [oksana.v.serant@lpnu.ua](mailto:oksana.v.serant@lpnu.ua). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-8062-1135>

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри економічної експертизи та землевпорядкування Західноукраїнський національний університет (Тернопіль, Україна)  
E-mail: [Vitroviy\\_a@ukr.net](mailto:Vitroviy_a@ukr.net). ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0003-2885-3745>

<sup>5</sup>кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри картографії та геопросторового моделювання  
Національний університет «Львівська політехніка» (Львів, Україна)  
E-mail: [nataliia.p.yarema@lpnu.ua](mailto:nataliia.p.yarema@lpnu.ua)

## МОНІТОРИНГ ЧАСТКИ ЗЕМЕЛЬ ТРАНСПОРТУ В ЗЕМЕЛЬНИХ ТОРГАХ

*Транспортний сектор України потребує суттєвих змін у землекористуванні відповідно до міжнародних угод. Необхідно систематизувати поняття земель транспорту, проаналізувати тенденції щодо використання земель для таких цілей в розрізі власників землі та землекористувачів, а також окреслити перспективи розвитку землекористування транспортного сектора України. Відсоток аукціонів, на які виносять землі транспорту, залишається невеликим, оскільки землі транспорту не користуються попитом на земельних торгах. Це можна пояснити відсутністю фінансово-спроможних учасників аукціону серед українців, недостатню наповненість бюджетів та недостатнє висвітлення роботи аукціонів. Слід зауважити, що для Львівської області відсоток аукціонів для земель транспорту складає до 40 % усіх аукціонів в Україні, що свідчить про розвиток транспортної галузі на території області.*

*Ключові слова:* землі транспорту; земельні торги; землекористування; земельні аукціони; Держгеокадастр.  
Табл.: 4. Рис.: 5. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні згідно з проектом Президента України «Велике будівництво» та переходу до електронного обліку земель виникло питання про внесення даних про землі транспорту до публічної кадастрової карти України, присвоєння кадастрових номерів уже існуючим об'єктам транспортної системи, а також отримання їх для запроєктованих об'єктів за рахунок зміни цільового призначення земель. Облік земель транспорту дозволяє в подальшому удосконалити транспортну систему України та привести до ефективного господарювання на цих землях.

**Постановка проблеми.** Землі транспорту охоплюють великий спектр землекористування. Розвиток транспортного сектору України потребує суттєвих змін у землекористуванні згідно з міжнародними угодами. Оперуючи доступними для дослідження джерелами інформації, на теперішній час таких змін не спостерігається, тому необхідно провести додаткові дослідження обліку земель транспорту за рахунок аналізу земельних торгів України.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Станом на 01 січня 2016 р., за даними Держгеокадастру [2], кількість земель в Україні, які використовуються для транспорту, становило 496,8 тис. га, що охоплює великий спектр землекористування. Розвиток транспортного сектору України потребує суттєвих змін у землекористуванні відповідно до міжнародних угод. Оперуючи доступними для дослідження джерелами інформації, таких змін не спостерігається. Однак міжнародні угоди та проекти законодавчих актів свідчать про перспективу розвитку і значний потенціал усіх галузей транспорту України [3].

Виконавши аналіз даних з 2010 по 2015 рр., спостерігається тенденція збільшення площі земель під дорогами, яка зросла з 309,4 тис. га до 321,9 тис. га і водночас зменшення земель під залізницями на 10,9 тис. га. Також несуттєво зменшилась площа під аеропортами та відповідними спорудами – всього на 1,0 тис. га.



Відведення земель у власність або користування часто відбувається через купівлю-продаж землі. Набуття права власності та оренди земельних ділянок через земельний аукціон – один зі способів їх продажу в найкоротші терміни, проте не за максимально вигідною ціною. За оцінкою результатів земельні торги характеризуються від’ємними показниками. Сучасні умови, беззаперечно, вимагають урегулювання на законодавчому рівні низки вимог стосовно організації та проведення земельних аукціонів для створення, передусім, умов для їх проведення на конкурентних засадах [9].

З метою модернізації транспортної інфраструктури доцільним є подальші дослідження окремих галузей транспорту, що є передумовою розвитку партнерства держави та приватного бізнесу. Також необхідно проаналізувати статистику земельних торгів України, адже довідку 6-Зем про склад угідь відмінили 01.01.2016 року, що унеможливило отримання даних про склад земель України [5; 6].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відповідно до існуючих проєктів модернізації автомобільних шляхів України (ремонт та будівництво нових) та іншої транспортної інфраструктури, необхідно дослідити правовий статус земель, на яких планується виконувати відповідні роботи, та оцінити тенденції встановлення права власності земель транспорту.

**Мета дослідження.** Необхідно систематизувати поняття земель транспорту, проаналізувати тенденції щодо використання земель для таких цілей у розрізі власників землі та землекористувачів, окреслити перспективи розвитку землекористування транспортного сектору України. Визначити частку земель транспорту в торгах на конкурентних засадах.

**Виклад основного матеріалу.** Відповідно до ст. 67 Земельного кодексу України [1] землі транспорту надаються організаціям, підприємствам та установам для розвитку, ремонту й експлуатації об’єктів транспорту. Землі транспорту можуть перебувати в державній, комунальній та приватній власності. За погодженням органів місцевого самоврядування та органів місцевої виконавчої влади здійснюється використання земель транспорту, пов’язане з розміщенням об’єктів та споруд транспорту на таких землях. На транспортні підприємства, яким надаються земельні ділянки, покладено додаткові обов’язки належного їх використання та охорони.

Згідно з КВЦПЗ (Класифікації видів цільового призначення земель) [4] кожному підвиду земель транспорту належить відповідний код, який подано в табл. 1. За даними Держгеокадастру [2] станом на 01.01.2016 року в Україні під землями транспорту використовується 496,8 га землі.

Розподіл земель транспорту наведено на рис. 1. З діаграми, найбільшу частку земель транспорту складають землі автомобільних доріг (39,9 %), а найменшу відведено під землі водного сполучення.

Таблиця 1

*Класифікація видів цільового призначення [4]*

Код КВЦПЗ		Назва
Розділ	Підрозділ	
1	2	3
Секція J	12	<b>Землі транспорту</b> (землі, надані підприємствам, установам та організаціям залізничного, автомобільного транспорту і дорожнього господарства, морського, річкового, авіаційного, трубопровідного транспорту та міського електро-транспорту для виконання покладених на них завдань щодо експлуатації, ремонту і розвитку об’єктів транспорту)
	12.01	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд залізничного транспорту
	12.02	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд морського транспорту
	12.03	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд річкового транспорту

Закінчення табл. 1

1	2	3
	12.04	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд автомобільного транспорту та дорожнього господарства
	12.05	Для розміщення та експлуатації об'єктів трубопровідного транспорту
	12.06	Для розміщення та експлуатації об'єктів трубопровідного транспорту
	12.07	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд міського електротранспорту
	12.08	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд додаткових транспортних послуг та допоміжних операцій
	12.09	Для розміщення та експлуатації будівель і споруд іншого наземного транспорту
	12.10	Для цілей підрозділів 12.01-12.09, 12.11 та для збереження та використання земель природно-заповідного фонду
	12.11	Для розміщення та експлуатації об'єктів дорожнього сервісу

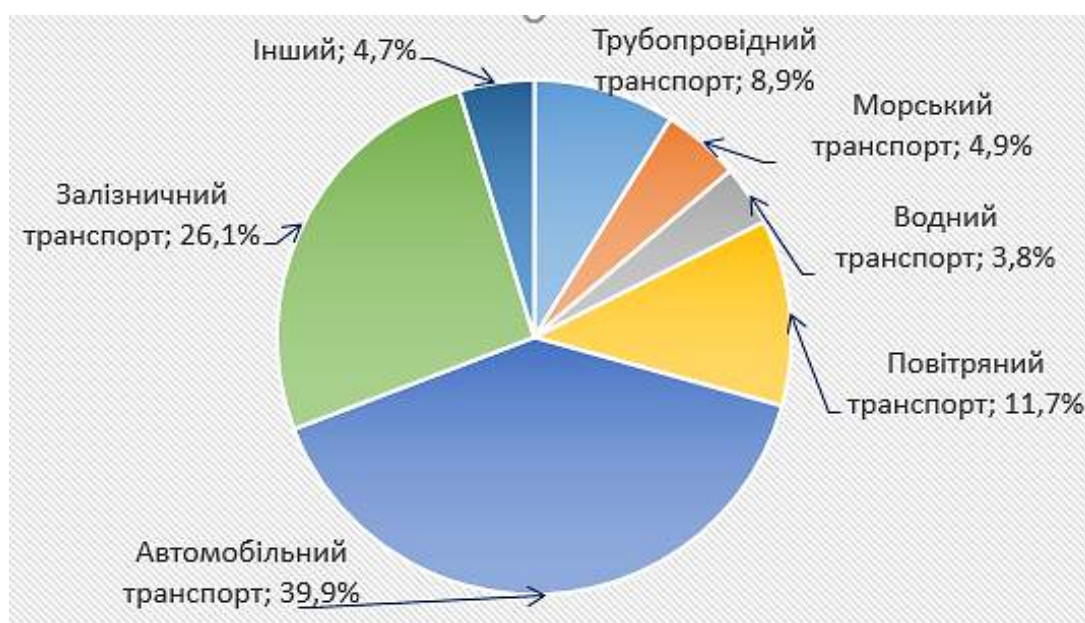


Рис. 1. Структура земель транспорту України у % відношенні

Забезпечення функціонування земель транспорту, а саме дороги, залізниці, аеропорти тощо є однієї з найважливіших галузей економіки України. Воно сприяє нормальному соціально-економічному розвитку, функціонуванню галузей суспільного виробництва та зміцненню обороноздатності держави й міжнародному співробітництву України.

Землі транспорту охоплюють великий спектр землекористування. Розвиток транспортного сектору України потребує суттєвих змін у землекористуванні згідно з міжнародними угодами. Оперуючи доступними для дослідження джерелами інформації, таких змін не спостерігається. Однак міжнародні угоди і проекти законодавчих актів свідчать про перспективу розвитку і значний потенціал усіх галузей транспорту України. До прикладу, відповідно до проекту Президента України «Велике Будівництво» [7], на території Львівської, Івано-Франківської та Закарпатської областей у 2020 році розпочалося проектування та будівництво «Малого Карпатського кола», будівництво «Північного обходу м. Львів, Львівська область» та будівництва «Великого транзитного кільця м. Львова» (рис. 2).

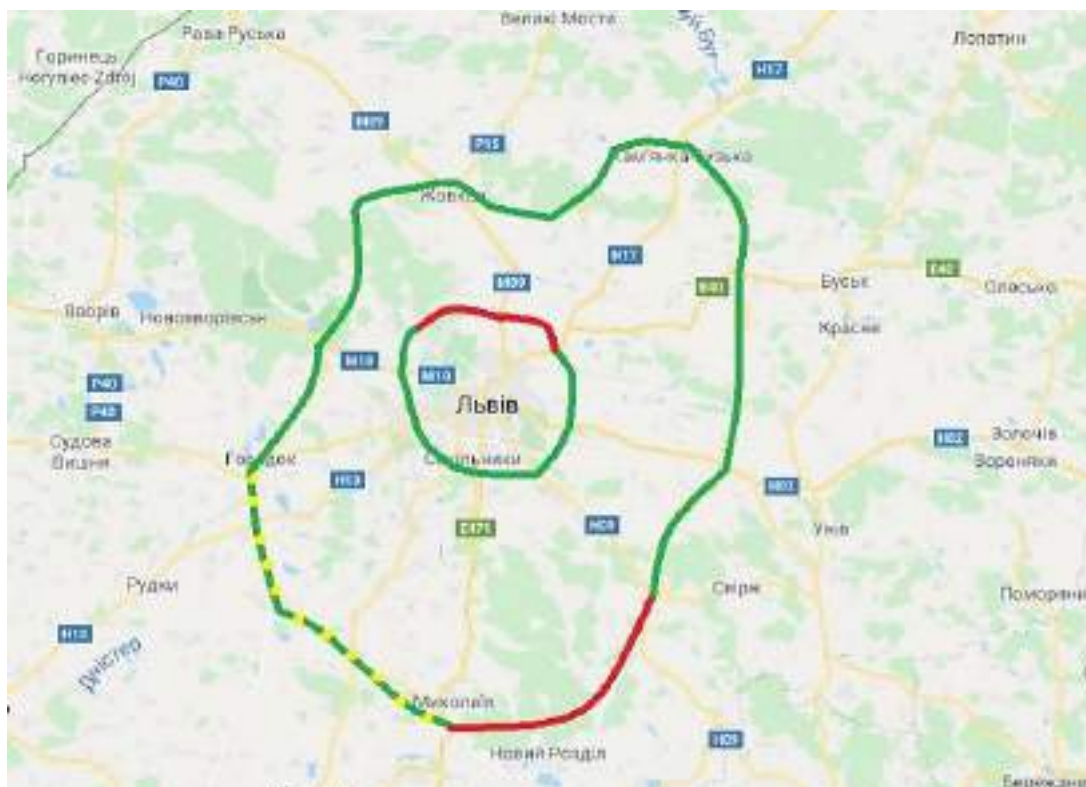


Рис. 2. Проект будівництва «Північного обходу м. Львова» та «Великого транзитного кільця м. Львова» [8]

Проаналізувавши статистичну інформацію з 2010 по 2015 рр. отриману з довідок 6-Зем (табл. 2) [3] спостерігається тенденція збільшення площі земель під дорогами і водночас зменшення земель під залізницями та аеропортами.

Таблиця 2

Розподіл використання земель транспорту за період 2010-2015 років [3]

Рік	Одиниці виміру	Землі, які використовуються для транспорту				
		Всього	У тому числі			
			Під дорогами	Під залізницями	Під аеропортами та їх спорудами	Інші землі
2000	Тис. га	493,3	309,4	123,1	21,0	39,8
	%	100	62,7	25,0	4,3	8,1
2005	Тис. га	491,2	312,9	118,0	20,4	39,9
	%	100	63,7	24,0	4,2	8,1
2010	Тис. га	494,6	320,0	113,8	19,0	41,8
	%	100	64,7	23,0	3,8	8,5
2015	Тис. га	496,8	321,9	112,2	20,0	42,7
	%	100	64,8	22,6	4,0	8,6
± до року	Тис. га	3,5	12,5	-10,9	-1,0	2,9

З метою модернізації транспортної інфраструктури доцільним є подальші дослідження окремих галузей транспорту, що є передумовою розвитку партнерства держави та приватного бізнесу.

Аналіз цілей та пріоритетів розвитку транспортного сектору України говорить про те, що необхідно також врахувати екологічні аспекти землекористування, шляхом проведення екологічної оцінки та оцінити вплив на довкілля всіх видів транспорту, як землекористувачів. Нині відсутні видимі оцінки змін у землекористуванні, які зумовлені покращенням транспортної стратегії України.

Проаналізувавши статистику земель транспорту до 2016 року, згідно з довідкою 6-Зем, можна зробити висновок, що відсоткове співвідношення цих земель до загальної площі земель України не змінюється з роками. Для подальших досліджень зміни кількості земель транспорту та автомобільного транспорту зокрема, звернемося до статистики земельних торгів України.

Статистика земельних торгів на конкурентних засадах ведеться з 30 березні 2013. У період з 30 березня 2013 року по 30 жовтня 2021 року (враховуючи заплановані торги) по всій території України оголошено 54777 аукціонів, лотами в яких виступали землі всіх категорій, з них 504 лоти відносяться до земель транспорту.

Якщо ж виокремити м. Львів і Львівську область, то за вказаний період було оголошено 218 торгів, лотами яких були землі транспорту. У табл. 3 наведено статистику аукціонів на всій території України: по всіх категоріях земель, по землях, що відносяться до категорії земель транспорту та по території Львівської області для земель категорії 12.

Таблиця 3

Кількість оголошених аукціонів за період 30.03.2013 по 30.10.2021 роки

Рік	Україна		Львівська область
	Землі всіх призначень	Землі транспорту	Землі транспорту
30.03.2013	374	9	4
2014	1135	22	7
2015	2967	15	3
2016	3795	18	7
2017	4682	39	14
2018	7003	57	26
2019	11315	95	36
2020	13170	164	76
30.10.21	10336	85	45
Всього	54777	504	218

З рис. 3 видно, що щорічно кількість аукціонів на землю зростає, однак частка аукціонів для земель транспорту є відчутно малою і становить усього 0,92 % від загальної кількості. Якщо ж порівнювати кількість земельних торгів для категорії 12 у Львівській області та на всій території України, то вони становлять 43 % від усіх запланованих аукціонів, що свідчить про розвиток транспортної галузі на території області.



Рис. 3 Графік кількості проведених торгів в Україні на конкурентних засадах з 2013 по жовтень 2021 рр.

З графіка (рис. 4) та табл. 4 видно, що сумарна площа земельних ділянок транспорту, що виставлені на земельні торги з 2018 року збільшуються. У 2020 році сумарна площа земель виставлених на торги зростає 2,2 раза. Якщо ж аналізувати 2021 рік, то загальна площа ділянок є меншою на 20 % у порівнянні з 2020 роком, але це зумовлено тим, що рік ще триває і велика частка аукціонів відбувається наприкінці року. Усього за досліджуваний період на земельних торгах виставлено земельні ділянки транспорту загальною площею 239,57 га, з них 100,67 га розташовані на території Львівської області.



Рис. 4. Сумарні площі земель транспорту, виставлені на земельні торги у відповідних роках

Таблиця 4

Площі земель транспорту, винесені на земельні торги із конкурентними засадами у 2013-2021 рр.

Рік	Україна	Львівська область
30.03.2013	7,6533	0,5838
2014	24,2955	2,2762
2015	24,8989	1,4113
2016	7,507	2,6787
2017	21,7749	3,4076
2018	26,1642	13,2654
2019	31,2569	23,5799
2020	59,9148	29,7503
30.10.21	36,1058	23,7144
<b>Всього</b>	<b>239,5713</b>	<b>100,6676</b>

Починаючи з 2018 р. спостерігається тенденція збільшення проведення земельних торгів на конкурентних засадах як в Україні загалом, так і у Львівській області зокрема (табл. 3). Як видно з рис. 4, частка площ земель транспорту, виставлених на торги, Львівської області відносно всіх земель в Україні є вагомою, та досягає 50 % (2020 р.). З чого можемо зробити висновок, що по інших областях України такі землі на торги виносять дуже рідко (у 2020 р. усього 88 торгів, на які винесено 30,1645 га земель із 59,5148 га). Отже, відсоток торгів на які виносять землі транспорту залишається невеликим, оскільки землі транспорту не користуються попитом на земельних торгах. Це можна пояснити відсутністю фінансово-спроможних учасників аукціону серед українців та недостатню наповненість бюджетів.

Також слід врахувати результати проведених земельних торгів (Рис. 5), які вважаємо незадовільними, оскільки кількість проданих прав на користування земельними ділянками є межах 70 %. Зважаючи на те, що на торги виносяться дуже невелика частина земель транспорту, усього 239,5713 га за вісім років, враховуючи результативність проведених аукціонів (рис.5), можемо припустити, що з них продано лише 167,70 га, а це не забезпечує належне функціонування ринку землі у транспортній галузі й не сприяє зміцненню української економіки.



Рис. 5. Результативність торгів за 2017-2019 [9]

**Висновки.** Проаналізувавши відсоткове співвідношення усіх проведених аукціонів до аукціонів проведених за участю земель транспорту після 2014 року спостерігається значне зменшення попиту на землі транспорту, а саме на 0,5 % від усіх аукціонів. Після 2017 року цей показник збільшується до 0,8 %, але все-рівно не доходить до рівня 2014 року (2 %). У 2020 році показник збільшився до 1,25 %, що свідчить про збільшення попиту на землі транспорту та розвиток транспортної галузі.

Питання кількісного обліку земель транспорту залишаються недостатньо висвітленими. Для вирішення цієї проблеми пропонуємо розширити класифікатор земель за цільовим призначенням, а саме розділити підрозділи 12.01 та 12.04, з яких виокремити землі під дорожнім покриттям залізничних доріг (напр.12.011) та автомобільних доріг (12.041) і для розміщення та експлуатації будівель і споруд відповідно 12.012 та 12.041. Це надало б можливість органам місцевого самоврядування отримувати більш достовірну інформації про земельні ділянки та сприяло до більшого зацікавлення на земельних торгах.

Відсоток аукціонів на які виносять землі транспорту залишається невеликим, оскільки землі транспорту не користуються попитом на земельних торгах. Це можна пояснити відсутністю фінансово-спроможних учасників аукціону серед українців, недостатню наповненість бюджетів та недостатнє висвітлення роботи аукціонів.

Попри це, слід зауважити, що для Львівської області порівняно із всією територією України, відсоток аукціонів для земель транспорту становить до 40 % усіх аукціонів в Україні, що свідчить про розвиток транспортної галузі на території області.

#### Список використаних джерел

1. Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.
2. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру : офіційний вебсайт Держгеокадастру України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://land.gov.ua>.
3. Стецюк М. П. Стан і перспективи використання земель транспорту в Україні [Електронний ресурс] / М. П. Стецюк, Н. Ф. Іщенко // Землеустрій, Кадастр і Моніторинг Земель. – 2018. – № 1. – С. 14–24. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy\\_2018\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2018_1_5).

4. Про затвердження Класифікації видів цільового призначення земель [Електронний ресурс] : Наказ № 548 від 23.07.2010. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1011-10#Text>.

5. Про затвердження форм державної статистичної звітності з земельних ресурсів та Інструкції з заповнення державної статистичної звітності з кількісного обліку земель (форми NN 6-зем, 6а-зем, 6б-зем, 2-зем) [Електронний ресурс] : Наказ № 377 від 05.11.98. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0788-98#top>.

6. Про визнання таким, що втратив чинність, наказу Державного комітету статистики України від 05 листопада 1998 року № 377 Про затвердження форм державної статистичної звітності з земельних ресурсів та Інструкції з заповнення державної статистичної звітності з кількісного обліку земель (форми NN 6-зем, 6а-зем, 6б-зем, 2-зем) [Електронний ресурс] : Наказ № 190 від 19.08.2015. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1084-15#Text>.

7. Проєкт «Велике будівництво» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://bigbud.kmu.gov.ua>.

8. Транзит в обхід. Довкола Львова з'являться два транспортні кільця [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://portal.lviv.ua/news/2020/04/15/tranzyt-v-obkhid-dovkola-lvova-z-iavliatsia-dva-transportni-kiltsia>.

9. Dorosh O. Analysis of the bidding in Ukraine: problems and proposals for improvement / O. Dorosh, Y. Dorosh, Y. Tarnopolskyi // *Zemleustrii, Kadastr i Monitoring Zemel'*. – 2020. – № 1. – С. 50–62. – Режим доступу: <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2020.01.06>.

### References

1. *Zemelnyi kodeks Ukrainy [Land Code of Ukraine]* № 2768-III (25.10.2001). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14>.

2. *Derzhavna sluzhba Ukrainy z pytan heodezii, kartohrafiï ta kadastru [State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography and Cadastre]*. <https://land.gov.ua>.

3. Stetsiuk, M.P., Ishchenko, N.F. (2018). Stan i perspektyvy vykorystannia zemel transportu v Ukraini [Status and prospects of land use of transport in Ukraine]. *Zemleustrii, Kadastr i Monitorynh Zemel – Management, Cadastre and Monitoring of Lands*, (1), 14–24. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy\\_2018\\_1\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2018_1_5).

4. Pro zatverdzhennia Klyasyfikatsii vydiv tsilovoho pryznachennia zemel [On approval of the Classification of types of land use], Order № 548 (23.07.2010). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1011-10#Text>.

5. Pro zatverdzhennia form derzhavnoi statystychnoi zvitnosti z zemelnykh resursiv ta Instruksii z zapovnennia derzhavnoi statystychnoi zvitnosti z kilkisnoho obliku zemel (formy NN 6-зем, 6а-зем, 6б-зем, 2-зем) [On approval of forms of state statistical reporting on land resources and Instructions for filling in state statistical reporting on quantitative accounting of land (forms NN 6-land, 6а-land, 6б-land, 2-land)], Order № 377 (05.11.98). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0788-98#top>.

6. Pro vyznannia takim, shcho vtratyv chynnist, nakazu Derzhavnoho komitetu statystyky Ukrainy vid 05 lystopada 1998 roku № 377 Pro zatverdzhennia form derzhavnoi statystychnoi zvitnosti z zemelnykh resursiv ta Instruksii z zapovnennia derzhavnoi statystychnoi zvitnosti z kilkisnoho obliku zemel (formy NN 6-зем, 6а-зем, 6б-зем, 2-зем) [On recognizing as invalid the order of the State Statistics Committee of Ukraine of November 5, 1998 № 377 On approval of forms of state statistical reporting on land resources and Instructions for filling in state statistical reporting on quantitative land accounting (forms NN 6-зем, 6а-зем, 6б-зем, 2-зем)], Order № 190 (19.08.2015). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1084-15#Text>.

7. Proiekt «Velyke budivnytstvo» [Large Construction Project]. (n.d.). <https://bigbud.kmu.gov.ua>.

8. Tranzyt v obkhid. Dovkola Lvova z'iaivliatsia dva transportni kiltsia [Transit bypass. Two transport rings will appear around Lviv]. (n.d.). <https://portal.lviv.ua/news/2020/04/15/tranzyt-v-obkhid-dovkola-lvova-z-iavliatsia-dva-transportni-kiltsia>.

9. Dorosh, O., Dorosh, Y., & Tarnopolskyi, Y. (2020). Analysis of the bidding in Ukraine: problems and proposals for improvement. *Zemleustrii, Kadastr i Monitoring Zemel'*, (1), 50–62. <https://doi.org/10.31548/zemleustriy2020.01.06>.

Отримано 03.08.2021

UDC 656.01:332.3

**Roman Vanchura<sup>1</sup>, Kateryna Smoliy<sup>2</sup>, Oksana Serant<sup>3</sup>, Andriy Vitrovyy<sup>4</sup>, Nataliy Yarema<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical science, Senior Lecturer of economic expertise and land management department  
West Ukrainian National University (Ternopil, Ukraine)

**E-mail:** [r.vanchura@gmail.com](mailto:r.vanchura@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2782-2405>

<sup>2</sup>PhD in Technical science, Senior Lecturer of economic expertise and land management department  
West Ukrainian National University (Ternopil, Ukraine)

**E-mail:** [kateryna.smoliy@gmail.com](mailto:kateryna.smoliy@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6731-1557>

<sup>3</sup>PhD in Technical science, Senior Lecturer of higher geodesy and astronomy department  
National University Lviv Politechnic (Lviv, Ukraine)

**E-mail:** [oksana.v.serant@lpnu.ua](mailto:oksana.v.serant@lpnu.ua). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8062-1135>

<sup>4</sup>PhD in Technical science, Associate Professor of economic expertise and land management department  
West Ukrainian National University (Ternopil, Ukraine)

**E-mail:** [Vitrovyy\\_a@ukr.net](mailto:Vitrovyy_a@ukr.net). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2885-3745>

<sup>5</sup>PhD in Technical science, Associate Professor of cartography and geospatial modeling department  
National University Lviv Politechnic (Lviv, Ukraine)

**E-mail:** [nataliia.p.yarema@lpnu.ua](mailto:nataliia.p.yarema@lpnu.ua)

## MONITORING OF THE LAND OF TRANSPORT IN LAND AUCTIONS

*To date, according to the project of the President of Ukraine "Large Construction" and the transition to electronic land registration, there is a question of entering these transport lands in the public cadastral map of Ukraine, assigning cadastral numbers to existing transport facilities, and obtaining them for projected objects by changing the purpose of the land. The accounting for transport lands allows to further improve the transport system of Ukraine and lead to efficient management of these lands.*

*Operating on the sources of information available for research, at present, such changes are not observed, so it is necessary to conduct additional research on the accounting of transport lands through the analysis of land auctions in Ukraine.*

*Analysis of research and publications allows to obtain information on the accounting of transport lands only until the end of 2015, which is currently outdated information.*

*In accordance with the existing projects of modernization of highways of Ukraine (repair and construction of new ones) and other transport infrastructure, it is necessary to study the legal status of lands on which it is planned to perform relevant works and assess trends in ownership of transport lands.*

*The aim of the research is to systematize the concept of transport lands, to analyze the trend of such lands use in terms of land owners and land users, to outline the prospects for the development of land use in the transport sector of Ukraine. Determine the share of transport lands in tenders on a competitive basis.*

*Based on the analysis of statistical data obtained from the State Geocadastr, the paper presents the analysis of information on land auctions on a competitive basis. We singled out information about transport lands and obtained percentage patterns of increasing the number of category 12 lands due to purchase and sale agreements for all territories of Ukraine and for the Lviv region in particular. The analysis of the success of land auctions was also carried out and taken into account in the final values of the received land areas.*

*The paper analyzes the number of land auctions in the period from March 30, 2013 to October 30, 2021 (including planned auctions) throughout Ukraine. The percentage of the number of auctions for transport lands to the auctions for all categories of lands is determined. It is determined that the percentage of auctions for which transport lands are transferred remains small, as transport lands are not in demand at land auctions. This can be explained by the lack of financially viable auction participants among Ukrainians, insufficient budgets and insufficient coverage of auctions.*

*Nevertheless, it should be noted that for Lviv region compared to the whole territory of Ukraine, the percentage of auctions for transport lands is up to 40% of all auctions in Ukraine, which indicates the development of transport in the region, which correlates with the project "Large Construction".*

**Keywords:** transport lands; land auctions; land use; land tenders; State Geocadastr.

**Fig.:** 4. **Table:** 5. **References:** 9.



**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ  
НАУКОВИХ СТАТЕЙ ДО НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ  
«ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ»**

**Шановні дописувачі!**

Для подання статті необхідно спочатку надіслати на електронну адресу [tst.technical.sj@gmail.com](mailto:tst.technical.sj@gmail.com) Вашу статтю, рецензію та довідку про автора (ів) для попереднього розгляду редакційною колегією журналу «Технічні науки та технології».

Після отримання позитивного відгуку прохання сплатити вартість публікації і відправити весь пакет документів.

Для публікації статті у журналі «Технічні науки та технології» необхідно в обов'язковому порядку подати:

- електронний варіант статті, оформленої за зразком;
- рецензію на статтю за підписом доктора наук;
- довідку про авторів;
- квитанцію (скановану) про сплату вартості публікації наукової статті.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **60 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

***УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ  
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ  
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
«ЧЕРНІГІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»:***

**<http://tst.stu.cn.ua/>**

**Контактна інформація.**

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 151.

Контактна особа: Мекшун Ірина Миколаївна.

Тел. роб.: (0462) 66-52-24

Тел. моб.: (093) 415-52-17

E-mail: [tst.technical.sj@gmail.com](mailto:tst.technical.sj@gmail.com)

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.  
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи,  
що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

*Редакція розглядає надходження публікації та супровідних документів (рецензії,  
довідки про авторів тощо) як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права  
на використання твору (тиражування, розповсюдження тощо).*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*№ 3(25)*

Відповідальний за випуск  
Редактор  
Технічний редактор

С. П. Сапон  
О. С. Смєлова  
І. М. Мекшун

Підписано до друку 28.09.2021. Формат 60×84/8. Ум. друк. арк. – 34,64.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 48/21.

---

Редакційно-видавничий відділ Національного університету «Чернігівська політехніка»  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів  
видавничої продукції серія ДК № 7128 від 18.08.2020 р.