

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

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЧЕРНІГІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 4 (18)***



Чернігів 2019

УДК 62:67.05

T38

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 12 від 23.12.2019 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».

T38 **Технічні науки та технології** : науковий журнал / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2019. – № 4 (18). – 260 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у науковому напрямі «Технічні науки» за спеціальностями: прикладна механіка, матеріалознавство, машинобудування, інформаційно-комп'ютерні технології, енергетика, 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, Чернігівський національний технологічний університет.

**Заступник головного редактора:**

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

**Члени редакційної колегії:**

Прикладна механіка, матеріалознавство та машинобудування

Бойко С. В., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Дубенець В. Г., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Єрошенко А. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Новомлинець О. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Пилипенко О. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Інформаційно-комп'ютерні технології

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

Вархола Міхал, доктор технічних наук, професор, Технічний університет в Кошице (Словаччина);

Джон Н. Девис, доктор технічних наук, професор, університет Глиндор, Рексем, Великобританія;

Зайцев С. В., доктор технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Литвинов В. В., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Енергетика, електротехніка та електромеханіка

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

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

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

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

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

Скоробогатова В. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет.

Хімічні та харчові технології

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

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Цибуля С. Д., доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет;

Челябієва В. М., кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет.

Будівництво та геодезія

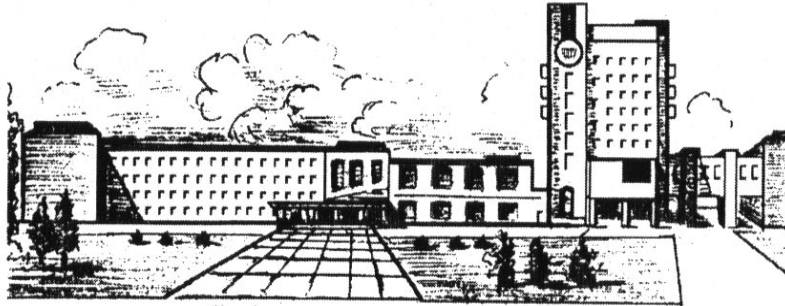
Вінніков Ю. Л., доктор технічних наук, професор, Полтавський національний технічний університет;

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



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

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



# ***TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES***

***SCIENTIFIC JOURNAL***

***ISSUE № 4 (18)***

Chernihiv 2019

UDC 62:67.05  
DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 12 dated 23.12.2019). 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 National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2019. – № 4 (18). – 260 p.

This issue of the journal "Technical sciences and technologies" contains articles devoted to theoretical and experimental research in the scientific direction "Technical Sciences" by specialties: applied mechanics, materials science and machine building, information and computer technologies, 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 National University of Technology (ChNUT).

***Deputy Editor in chief:***

Sapon S. P., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT.

***Members of the Editorial Board:***

Applied mechanics, materials science and machine building

Boyko S. V., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT;

Bolotov H. P., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Dubenets V. H., Doctor of Technical Sciences, Professor, ChNUT;

Yeroshenko A. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor; ChNUT.

Kalchenko V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Kalchenko V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Novomlynets O. O., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Pilipenko O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor, ChNUT.

Information and computer technologies

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

Varchola Michal, Professor, President of the Academic society of Michal Baludansky, Slovakia;

John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Sciences, ChNUT;

Lytyynov V. V., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT.

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; ChNUT;

Denysov Yu. A., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

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

Skorobohatova V. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT.

Chemical and food technologies

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

Syza O. I., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Tsybulia S. D., Doctor of Technical Sciences, Professor; ChNUT;

Cheliabiiieva V. M., PhD in Technical Sciences, Associate Professor, ChNUT.

Construction and geodesy

Vynnykov Y. L., Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University;

Shults R. V., Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv national university of construction and architecture.



## ЗМІСТ

РОЗДІЛ I. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО  
ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

<i>Новомлинець О., Ющенко С., Олексієнко С., Половецький Є., Алексеєнко І.</i> Нова технологія зварювання тиском алюмінію з міддю через прошарок.....	9
<i>Размишляев О., Иванов В., Агеева М.</i> Формування зони проплавлення при нульовій швидкості електродугового наплавлення дротяним електродом під флюсом.....	18
<i>Агеева М., Размишляев А.</i> Влияние комбинированного магнитного поля на производительность расплавления проволоки при дуговой наплавке.....	22
<i>Венжега В., Пасов Г.</i> Зменшення впливу автомобільного транспорту на довкілля.....	28
<i>Filakovský F., Virgala I.</i> Anlysis of pipe mechanism locomotion.....	36
<i>Varga M.</i> Simplification and verification of dynamic equations of movement of an autonomus underwater vehicle.....	43
<i>Semjon J., Kocan M.</i> Proposal of robotized cell with robot kuka KR 6 for educational purposes.....	49
<i>Ihnat I., Jánoš R.</i> Industrial design approach to specific engineering design.....	55
<i>Gmiterko A.</i> Snake-like robot rectilinear motion analysis.....	63
<i>Tuleja P.</i> Measuring methodology and parametric tests of rotary positioning table.....	68
<i>Винник В.</i> Аналіз методів обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів орієнтованим інструментом.....	74

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Казимир В., Карпачев І., Сіпаков В.</i> Динамічний аналіз послідовностей API-викликів ОС Android.....	85
<i>Дубягін О., Гур'єв В., Фірсова І.</i> Міжрівневий баланс: балансові показники міжрівневого пересування одиниць об'єкта – агрегатна форма.....	92
<i>Kelemenova T.</i> Repeatability and validity of the measurements made on toolmakers microscope.....	101
<i>Vagaš M., Galajdová A., Džongov M.</i> Proposal of a vision system for automated line MPS 500.....	108

## РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

<i>Kelemen M.</i> Experimental identification of sensitivity of tilt sensor.....	114
<i>Marcinko P., Hajduk M., Kočan M.</i> Measuring chain for checking the vibration of mechanical parts.....	121
<i>Ráka R.</i> Wireless servomotor control for remote actuation.....	127
<i>Miková L.</i> Design of a controller for ideal positioning servosystem.....	134
<i>Šarga P., Záboly T.</i> Modernization of the transport system control of the production system.....	141
<i>Prada E.</i> Determination of transfer function of magnetic levitation model and experimental verification of optical sensor.....	148
<i>Литвин О., Скляр В., Сікалюк В., Сахно Д.</i> Удосконалення електричної складової електробагі подвійного застосування.....	155
<i>Сінчук О., Бойко С., Городній О., Некрасов А., Федь М., Ножнова М.</i> Метод визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізорудних підприємств.....	161
<i>Денисов Ю., Городній О., Серєда О.</i> Синтез регулятора контуру кута крену системи управління квадрокоптера з компенсуючим регулятором контуру струму.....	169

## РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Трус І., Гомеля М., Крисенко Т., Сенькова К.</i> Використання сорбентів на основі магнетиту для очищення води від іонів важких металів.....	175
<i>Савченко О., Калініченко Ю.</i> Технологія виготовлення житньо-пшеничного хліба на заквасках з використанням базиліку.....	183
<i>Дубініна А., Летуна Т., Новікова В.</i> Зберігання плодів абрикоса з використанням лікарсько-рослинних екстрактів.....	192

*Plavan V., Ishchenko O., Resnytskyi I., Liashok I., Kuchynska D.* Modified polysaccharides application for antiseptic leather processing ..... 209

*Квартенко О.* Застосування комбінованих методів в технологіях очищення багатокomпонентних підземних вод..... 215

#### РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

*Смілка В.* Онтологічна модель містобудівного моніторингу земель населених пунктів ..... 223

*Поморцева О., Пілічева М., Анопрієнко Т.* Технологія використання геоінформаційних систем при обробці геодезичних даних ..... 229

*Бойко О., Ляшенко Д., Прусов Д.* Концептуальні засади BIM/GIS інтеграції геопросторових даних аеропортів, отриманих лазерним скануванням ..... 238

*Болотов М., Болотов Г., Прибитько І., Корзаченко М.* Шляхи підвищення корозійної стійкості залізобетону..... 247

**ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ**..... 259

## CONTENT

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

<i>Novomlynets O., Yushchenko S., Oleksiienko S., Polovetskiy E., Alekseienko I.</i> New technology of pressure welding of aluminium with copper through interlayer.....	9
<i>Razmyshlyayev A., Ivanov V., Ahieieva M.</i> Formation of penetration area at zero velocity of submerged electric arc surfacing with wire electrode.....	18
<i>Ahieieva M., Razmyshlyayev A.</i> The combined magnetic field influence on the weld melting productivity at arc surfacing.....	22
<i>Venzhega V., Pasov H.</i> Decrease of the effect of motor vehicle on the environment.....	28
<i>Filakovský F., Virgala I.</i> Anlysis of pipe mechanism locomotion.....	36
<i>Varga M.</i> Simplification and verification of dynamic equations of movement of an autonomus underwater vehicle.....	43
<i>Semjon J., Kocan M.</i> Proposal of robotized cell with robot kuka KR 6 for educational purposes.....	49
<i>Ihnat I., Jánoš R.</i> Industrial design approach to specific engineering design.....	55
<i>Gmiterko A.</i> Snake-like robot rectilinear motion analysis.....	63
<i>Tuleja P.</i> Measuring methodology and parametric tests of rotary positioning table.....	68
<i>Vynnyk V.</i> Analysis of methods of processing curvinal surfaces of camshafts with distributed shaft oriented tools.....	74

## SECTION II. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Kazymyr V., Karpachev I., Sipakov V.</i> Dynamic analysis of android API calls.....	85
<i>Dubyagin A., Guryev V., Firsova I.</i> Inter-level balance: balance indicators of the object units movement – aggregate form.....	92
<i>Kelemenova T.</i> Repeatability and validity of the measurements made on toolmakers microscope.....	101
<i>Vagaš M., Galajdová A., Džongov M.</i> Proposal of a vision system for automated line MPS 500.....	108

## SECTION III. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

<i>Kelemen M.</i> Experimental identification of sensitivity of tilt sensor.....	114
<i>Marcinko P., Hajduk M., Kočan M.</i> Measuring chain for checking the vibration of mechanical parts.....	121
<i>Rákay R.</i> Wireless servomotor control for remote actuation.....	127
<i>Miková L.</i> Design of a controller for ideal positioning servosystem.....	134
<i>Šarga P., Záboly T.</i> Modernization of the transport system control of the production system.....	141
<i>Prada E.</i> Determination of transfer function of magnetic levitation model and experimental verification of optical sensor.....	148
<i>Lytvyn O., Sklyar V., Sikaliuk V., Sahno D.</i> Improving the electrical component of dual-use electrobug.....	155
<i>Sinchuk O., Boyko S., Gorodny O., Nekrasov A., Fed M., Nozhnova M.</i> Method of determining the potential of distributed energy sources in the conditions of steel enterprises.....	161
<i>Denysov Yu., Gorodny O., Sereda O.</i> Synthesis of the system roll angle control system control of a quadcopter with a compensating current control current.....	169

## SECTION IV. CHEMICAL AND FOOD TECHNOLOGIES

<i>Trus I., Gomelya N., Krusenko T., Senkova K.</i> Application of sorbents based on magnetite for water purification from from heavy metal ions.....	175
<i>Savchenko O., Kalinichenko Yu.</i> Technology of manufacturing rye and wheat sourdough bread with the use of basil.....	183
<i>Dubinina A., Letuta T., Novikova V.</i> Storage of apricots using of medicinal plant extracts.....	192
<i>Plavan V., Ishchenko O., Resnytskyi I., Liashok I., Kuchynska D.</i> Modified polysaccharides application for antiseptic leather processing.....	209

<i>Kvartenko A.</i> Use of combined methods in technological treatment of multi-component underground waters.....	215
---	-----

#### SECTION V. CONSTRUCTION AND GEODESY

<i>Smilka V.</i> Ontological model of urban planning monitoring lands of populated items.....	223
<i>Pomortseva O., Pilicheva M., Anopriienko T.</i> The technology of using of geographic information systems in the processing of surveying data.....	229
<i>Boiko O., Lyashenko D., Prusov D.</i> Conceptual fundamentals of airport BIM /GIS spatial data integration received by laser scan.....	238
<i>Bolotov M., Bolotov G., Prybytko I., Korzachenko M.</i> Ways of increasing of reinforced concrete's corrosion strength.....	247
<b>BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES</b> .....	259



# РОЗДІЛ І. ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА, МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ТА МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.791.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-9-17

Олег Новомлинець, Світлана Ющенко,  
Сергій Олексієнко, Євген Половецький, Ігор Алексеєнко

## НОВА ТЕХНОЛОГІЯ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ АЛЮМІНІЮ З МІДЮ ЧЕРЕЗ ПРОШАРОК

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний темп промислового розвитку потребує зниження металоємності конструкцій та одночасного підвищення їхніх технічних характеристик. Використання біметалевих з'єднань у вузлах конструкцій дозволяє поєднати переваги кожного з матеріалів та забезпечити високі експлуатаційні властивості. Одним із найбільш поширених біметалів є пара алюміній-мідь, що широко використовується в різних галузях промисловості. Тому актуальним завданням є пошук нових способів отримання нероз'єднаних з'єднань алюмінію з міддю.

**Постановка проблеми.** Отримання якісних нероз'єднаних з'єднань різнорідних матеріалів пов'язане з технологічними труднощами, викликаними відмінностями фізико-механічних властивостей матеріалів. Особливо ця проблема ускладнюється в разі необхідності одержання прецизійних з'єднань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Способи зварювання тиском, зокрема електроконтактне, здатні запобігти виникненню вказаних проблем, підвищити міцність з'єднання та досягти прецизійності за рахунок більш низьких температур та меншої тривалості їх дії порівняно зі зварюванням плавленням. У попередніх роботах нами було розроблено технологію прецизійного електроконтактного зварювання алюмінієвих сплавів через тонкий металевий проміжний прошарок.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Недослідженим питанням залишається електроконтактне зварювання алюмінію з міддю через тонкий металевий проміжний прошарок.

**Постановка завдання.** Дослідження здатності до зварювання тиском алюмінію та міді через проміжний прошарок з алюмінієвої фольги з метою отримання з'єднань з високою міцністю та низьким рівнем деформації.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводили на зразках із алюмінію АД0 та міді М1 з використанням проміжного прошарку із суцільної стрічки алюмінієвої фольги марки АД0. Шляхом експериментів встановлено оптимальний режим електроконтактного точкового зварювання. Якість зварного з'єднання залежить від кількості шарів фольги в проміжному прошарку.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено технологію зварювання тиском алюмінію та міді через проміжний прошарок з алюмінієвої фольги; встановлено, що використання проміжного прошарку дозволяє збільшити тепловкладення в зону з'єднання та зменшити рівень залишкової деформації; досліджено мікроструктуру зони з'єднання; визначено міцність зварних з'єднань.

**Ключові слова:** алюміній; мідь; зварювання тиском; проміжний прошарок; тепловкладення; міцність; прецизійність.  
Рис.: 3. Табл.: 2. Бібл.: 16.

**Актуальність теми дослідження.** Однією з найактуальніших проблем машинобудування є зниження металоємності конструкцій при одночасному підвищенні їх технічних характеристик та надійності в роботі.

Розвиток сучасного авіа-, автомобіле-, приладобудування, хімічної, енергетичної та інших галузей промисловості тісно пов'язаний із широким використанням таких металевих матеріалів, які володіють високою міцністю при низьких та високих температурах, великим відношенням міцності до питомої ваги, достатньою опірністю напруженням, що виникають при вібраціях тощо.

Аналіз властивостей існуючих конструкційних матеріалів та матеріалів, що створюються, показує, що жоден із них не відповідає вищевказаним вимогам одночасно. Одним із способів раціонального застосування конструкційних матеріалів є виготовлення їх комбінованими. Тому в багатьох конструкціях оптимальні експлуатаційні властивості можливо отримати, використовуючи біметалеві з'єднання та вузли. У цьому випадку найбільш повно використовуються властивості, які характерні для кожного з металів, що входять до складу комбінованих з'єднань.

Серед таких біметалевих з'єднань значного поширення в різних галузях набуває використання пари мідь-алюміній [1; 2]. Наприклад, в електротехнічній промисловості

застосовують нероз'ємні з'єднання алюмінію з міддю в електропроводах, силових трансформаторах. В енергетиці мідно-алюмінієві вузли використовуються в елементах холодильної та криогенної техніки.

Останнім часом зварювання алюмінію з міддю стає одним із центральних технічних завдань у такій перспективній сфері, як електроавтомобілебудування, зокрема для виготовлення акумуляторів [2].

Вибір цих матеріалів для дослідження зумовлений не лише їх поширеністю у виробництві, а також потребою в отриманні нероз'ємних з'єднань пари мідь-алюміній з необхідними експлуатаційними якостями.

**Постановка проблеми.** Різномірні з'єднання, що працюють при високих температурах або у спеціальних середовищах, доцільно отримувати за допомогою зварювання. Це зумовлено тим, що механічні з'єднання (заклепочні, болтові тощо) здебільшого є ненадійними в експлуатації та складними за конструкцією. З'єднання, отримані зварюванням, сприяють зниженню металоємності, трудомісткості та підвищенню якості з'єднання. Водночас зварювання різномірних металів і сплавів пов'язане з технологічними труднощами.

Складність зварювання алюмінію з міддю пов'язана з тим, що вони розрізняються за фізичними та механічними властивостями, які обумовлюють як взаємодію металів між собою, так і їх взаємодію з фазами, що утворюються в процесі зварювання. Утворення крихких інтерметалідних фаз у процесі зварювання знижує показники міцності. Задача отримання якісного зварного з'єднання ще більше ускладнюється необхідністю забезпечення прецизійності. Тому актуальним завданням є дослідження та вдосконалення способів зварювання алюмінію з міддю з метою забезпечення високих показників механічної міцності та низького рівня залишкової деформації з'єднань.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Способи зварювання плавленням алюмінію та міді пов'язані зі значними труднощами, викликаними внаслідок специфіки фізико-хімічних властивостей цих матеріалів. Додаткова проблема виникає внаслідок наявності на поверхні алюмінію тугоплавкої оксидної плівки  $Al_2O_3$ .

Відомо, що якість зварних з'єднань з різномірних матеріалів суттєво залежить від умов формування інтерметалідів. Вони зберігають високий рівень лише на початковій стадії процесу зварювання, коли відбувається поперечний ріст інтерметалідної фази. Росту інтерметалідів сприяють високі температури нагрівання та тривалий час їх дії. Отримати якісне нероз'ємне з'єднання різномірних металів дозволяють ті способи зварювання, у яких термічний цикл не перевищує температурно-часових умов утворення інтерметалідів [3].

Вказаним вимогам найбільшою мірою відповідають способи зварювання тиском. Серед цих способів досить ефективним є дифузійне зварювання у вакуумі [4; 5], проте цей технологічний процес характеризується значною тривалістю, у результаті чого з'являється висока ймовірність виникнення інтерметалідів. Крім того, висока тривалість знижує продуктивність цього процесу. У багатьох випадках використовується холодне зварювання алюмінію з міддю, однак, по-перше, з'єднання при цьому характеризуються надмірною деформацією, а по-друге, з плином часу такі з'єднання ослаблюються [5; 6].

У порівнянні зі згаданими способами більш технологічним є електроконтактне зварювання, що зумовлюється такими перевагами: висока продуктивність, економічність, незначні залишкові деформації, простота та зручність робочого процесу, схильність до легкої механізації та автоматизації [6; 7]. Проте в багатьох випадках при електроконтактному зварюванні пари алюміній-мідь процес нагрівання міді струмом є досить тривалим внаслідок її високої електропровідності, що може призвести як до утворення інтерметалідів, так і до зниження прецизійності.

Тому необхідним завданням є пошук шляхів забезпечення миттєвого нагрівання металів з метою уникнення формування інтерметалідів та зменшення рівня деформації.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Як показано в попередніх роботах, при електроконтактному зварюванні ефекту прецизійності можна досягти шляхом зменшення об'єму розплавленого металу, зниження зусилля стиску та зростання температури у зоні контакту шляхом короткоімпульсного дозованого вкладення енергії [8; 9]. Водночас інтенсивного тепловиділення без надмірного перегрівання металу можна досягти використанням тонких проміжних прошарків зі зварювального матеріалу або матеріалу з близьким до основного металу хімічним складом [8; 10].

На основі цих досліджень нами було розроблено технологію прецизійного електроконтактного точкового зварювання алюмінію шляхом використання тонкого металевого проміжного прошарку [11], а у подальшому – технологію прецизійного стикового зварювання опором алюмінію через прошарок [12; 13].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У наявних публікаціях на тему зварювання тиском залишається недослідженим електроконтактне зварювання алюмінію з міддю з використанням тонких металевих проміжних прошарків.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка технології електроконтактного точкового зварювання алюмінію та міді з використанням проміжного прошарку у вигляді алюмінієвої фольги.

**Виклад основного матеріалу.** *Взаємодія алюмінію з міддю.* Специфіка поєднання фізичних властивостей міді та алюмінію така, що в більшості випадків не викликає додаткових ускладнень. Наприклад, різниця у 1,5 рази коефіцієнтів термічного розширення не призводить до небезпеки руйнування з'єднання, оскільки обидва матеріали є високопластичними. Однак значна різниця в температурах плавлення цих металів спричиняє той факт, що алюміній розплавляється раніше, ніж мідь. Відмінність теплопровідності та теплоємності призводить до зміни температурних полів та умов кристалізації металу [14].

Вирішальним ускладнюючим фактором при зварюванні алюмінію з міддю є схильність до утворення хімічних з'єднань. Аналіз діаграми стану системи алюміній-мідь показує, що в цій системі існує ряд стійких (як при кімнатній температурі, так і при нагріванні) інтерметалідів ( $Al_2Cu$ ,  $AlCu$ ,  $Al_2Cu_3$ ,  $AlCu_2$ ,  $Al_4Cu_9$  та ін.), що характеризуються високою твердістю та низькою пластичністю [14].

У порівнянні з поєднанням алюмінію з іншими металами (наприклад, залізом, нікелем) для взаємодії алюмінію з міддю характерні великі швидкості росту прошарків інтерметалідів і мала тривалість латентного періоду. Наявність латентного періоду дозволяє отримати високоякісні з'єднання безпосередньо алюмінію з міддю такими методами зварювання тиском, які використовують відносно невисокі температури при невеликій тривалості дії. Одним із таких способів є електроконтактне зварювання. Використання електроконтактного зварювання дозволяє забезпечити обмежені тепловкладення та температуру зварювання і таким чином запобігти перевищенню латентного періоду [3; 15].

*Технологічний процес електроконтактного точкового зварювання (ЕКТЗ).* Контактне точкове зварювання ґрунтується на генеруванні джоулевого тепла під час проходження електричного струму між електродами зварювальної машини в металі деталей та на контактних опорах електрод-деталь та деталь-деталь, а також пластичній деформації нагрітого металу [16].

Процес зварювання проводиться у три етапи. На першому етапі відбувається стискання деталей, що зварюються, який викликає пластичну деформацію мікронерівностей у ланцюзі електрод-деталь-деталь-електрод.

Другий етап полягає у ввімкненні імпульсу електричного струму, що призводить до нагрівання металу, його розплавлення в зоні з'єднання та утворення рідкого ядра. По мірі проходження струму ядро збільшується за висотою та в діаметрі до максимальних

розмірів. Відбувається утворення зв'язків у рідкій фазі металу. При цьому продовжується пластичне осадження контактної зони до кінцевого розміру. Стискання деталей забезпечує утворення ущільнюючого поясу навколо ядра, що запобігає виплеску металу.

На третьому етапі процесу відбувається вимкнення струму, охолодження та кристалізація металу, що закінчується утворенням литого ядра. При охолодженні об'єм металу зменшується та виникають залишкові напруження. Для забезпечення кращих умов кристалізації металу стискаюче зусилля знімається з деякою затримкою після вимкнення струму.

*Експериментальне дослідження ЕКТЗ алюмінію з міддю.* Відпрацювання технології зварювання алюмінію та міді здійснювалося на зразках алюмінію марки АД0 та міді марки М1 у вигляді пластин розміром  $1 \times 20 \times 100$  мм. Як проміжний прошарок, для електроконтактного зварювання використовувався технічний алюміній марки АД0 у вигляді суцільної стрічки фольги завтовшки 11 мкм, яка складалася в декілька шарів.

Хімічний склад та фізико-механічні властивості даних матеріалів наведено у табл. 1, 2 [15].

Зварювання проводили на машині для контактного точкового зварювання загального використання типу МТ-1216 (максимальна сила струму 12 кА). Циклограма процесу ЕКТЗ показана на рис. 1 [16].

Таблиця 1

*Хімічний склад (мас. %, не більше) матеріалів, що зварюються*

Метал	Al	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Ti
АД0	99,5	0,02	0,05	0,025	0,3	0,3	0,07	0,1
М1	99,9	0,005	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004	0,05

Таблиця 2

*Фізико-механічні властивості матеріалів, що зварюються (при  $T = 20^{\circ}\text{C}$ )*

Метал	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	$\alpha \cdot 10^6$ , К <sup>-1</sup>	$\rho \times 10^{-8}$ , Ом·м	$\lambda$ , Вт/м·К	$E$ , ГПа	$\sigma_s$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$HB$ , МПа	$\delta$ , %
АД0	2,71	24,0	2,92	226	71	80	40	30	15
М1	8,90	16,0	1,75	390	128	200	90	35	45

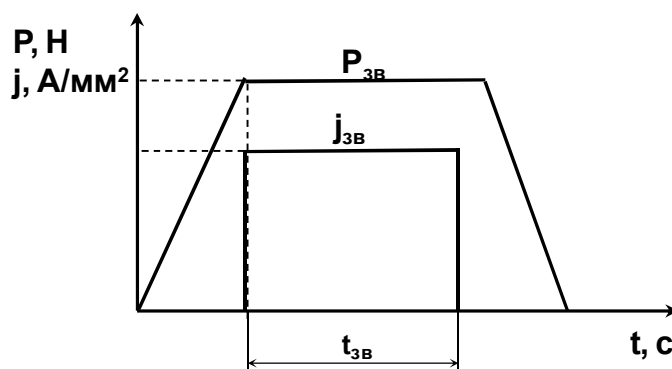


Рис. 1. Циклограма процесу ЕКТЗ:

$P_{зв}$  – стискаюче зусилля;  $j_{зв}$  – густина зварювального струму;  $t_{зв}$  – час зварювання

Електроконтактне точкове зварювання здійснювали на жорстких режимах: густина струму – 400-450 А/мм<sup>2</sup>, час імпульсу зварювання – 0,1-0,5 с, стискаюче зусилля – 0,8-1 кН. Кількість шарів фольги у проміжному прошарку змінювали від 2 до 10.

Необхідно зауважити, що на вказаних режимах з'єднання алюмінію та міді напряму, без використання прошарку, отримати зварне з'єднання не вдалося.

Шляхом проведення експериментів було визначено оптимальний режим процесу зварювання, що полягає в прикладенні до деталей, що зварюються, тиску  $P_{зв}$  величиною

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

28 МПа, пропусканні через деталі короткочасного імпульсу струму густиною  $j_{зв}$  425 А/мм<sup>2</sup>, часі зварювання  $t_{зв}$  0,1 с. Оптимальна кількість шарів фольги у проміжному прошарку – 6.

Металографічні дослідження зварних з'єднань проводились на шліфах за допомогою світлового мікроскопа Neophot-32 та електронного скануючого мікроскопа SEM15 фірми «Philips» (Нідерланди). Електронний мікроскоп оснащений енергодисперсійним рентгенівським аналізатором хімічних елементів LINK фірми «OXFORD» (Англія). Режим роботи електронного мікроскопа: прискорююча напруга – 20 кВ, струм пучка – 40 нА.

Якість зварних з'єднань оцінювали за результатами механічних випробувань на зріз на розривній машині марки РТ-250.

Мікроструктура зварного з'єднання, отриманого на оптимальному режимі через 6 шарів проміжних тонких прошарків, представлена на рис. 2. На фото яскраво виражене зміщення литого ядра в бік деталі з алюмінію, що пояснюється меншими значеннями його тепло- та електропровідності порівняно з міддю. Дослідження мікроструктури показали, що глибина проплавлення металу при використанні 6 шарів фольги становить не більше ніж 10 % товщини металу.

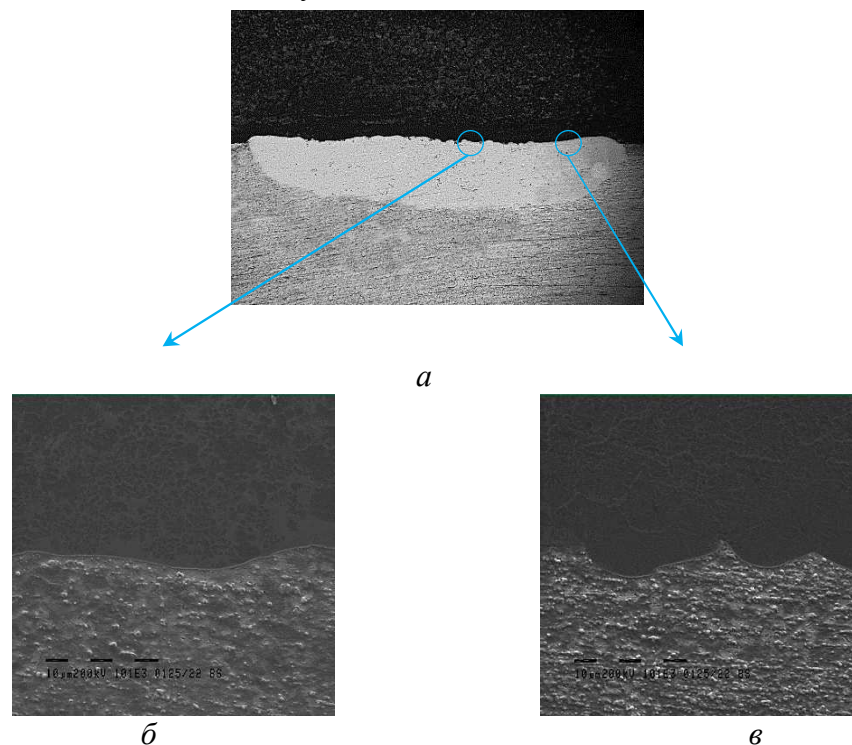


Рис. 2. Мікроструктура зварного з'єднання АД0+М1, отриманого ЕКТЗ ( $j = 425$  А/мм<sup>2</sup>;  $P_{зв} = 28$  МПа;  $t_{зв} = 0,1$  с), через 6 шарів фольги АД0, оптична мікроскопія,  $\times 50$ , (а), електронна мікроскопія (б, в)

Варто зазначити, що використання у прошарку більше ніж 6 шарів фольги спричиняє наскрізне проплавлення, що викликане надмірним тепловкладенням у зону з'єднання. Застосування меншої кількості проміжних шарів також виявилось недоцільним, оскільки тепловкладення є недостатнім, а діаметр ядра не відповідає вимогам до номінальних розмірів ( $2\delta + 3$  мм,  $\delta$  – товщина металу).

За допомогою мікрорентгеноспектрального аналізу зварних з'єднань було виявлено, що в зоні з'єднання відсутні сліди інтерметалідних з'єднань, що свідчить про те, що алюміній та мідь не вступають у хімічну взаємодію. Слідів оксидів металів також не виявлено.

На рис. 3 представлена топографія поверхні зламу зварного з'єднання після випробувань на зріз. Встановлено, що діаметр ядра становить від 4,5 до 5 мм.



Рис. 3. Топографія поверхні зламу після випробувань на зріз ( $\times 8$ )

Міцність зварного з'єднання становить 80-82 % від міцності основного матеріалу (алюмінію АД0). При цьому встановлено, що величина залишкової деформації не перевищує 2 % від початкової товщини деталі. Подальші дослідження в цьому напрямі продовжуються.

#### Висновки відповідно до статті.

1. Розроблено нову технологію зварювання тиском алюмінію АД0 з міддю М1 через тонкий металевий проміжний прошарок, яка полягає в розміщенні між деталями, що зварюються, прошарку з алюмінієвої фольги марки АД0 товщиною 11 мкм.

2. Встановлено, що ця технологія дозволяє запобігти утворенню інтерметалідних з'єднань алюмінію та міді за рахунок миттєвого нагрівання зони з'єднання.

3. Показано, що запропонована технологія електроконтактного точкового зварювання алюмінію АД0 з міддю М1 через прошарок з алюмінієвої фольги АД0 дозволяє отримати міцність зварних з'єднань на рівні 82 % міцності основного матеріалу при відносній деформації порядку 2 %.

4. Отримані результати можуть бути використані при розробці технологій виготовлення біметалевих зварних з'єднань з інших різномірних матеріалів.

#### Список використаних джерел

1. Биметаллы / Л. Н. Дмитров и др. Пермь: ПКИ, 1991. 415 с.
2. Kaspar, J., Zimmermann M., Ostwaldt, A., Goebel, G., Standfub, J., Brenner, B. Challenges in Joining Aluminium with Copper for Applications in Electro Mobility. *Materials Science Forum*. 2014. Vol. 783-786. P. 1747-1752.
3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: в 3 т. Т. 1 / под общ. ред. Н. П. Лякишева. Москва: Машиностроение, 1996. 992 с.
4. Ковшиков Е. К., Маслов Г. А. Новое в технологии диффузионного соединения материалов: Учеб. пособие. Москва: Машиностроение, 1990. 64 с.
5. Банов М. Д., Масаков В. В., Плюснина Н. П. Специальные способы сварки и резки: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. Москва: Академия, 2009. 207 с.
6. Квасницкий В. В. Специальные способы сварки: Учебное пособие. Николаев: УДМУ, 2003. 437 с.
7. Катаев Р. Ф., Милютин В. С., Близник М. Г. Теория и технология контактной сварки: учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. 144 с.
8. Новомлинець О., Олексієнко С., Ющенко С., Половецький Є. Прецизійне зварювання тиском алюмінієвих сплавів. *Технічні науки та технології*: науковий журнал. 2017. № 4 (10). С. 67–76.
9. Новомлинець О., Олексієнко С., Ющенко С., Байдала О., Половецький Є. Зварювання тиском алюмінієвих сплавів через модифіковані поверхневі шари. *Технічні науки та технології*: науковий журнал. 2018. № 3(13). С. 123–131.
10. Пат. 117001 UA, МПК51 В23К 20/16. Спосіб електроконтактного стикового зварювання опором алюмінію та його сплавів через прошарок / Харченко Г. К., Олексієнко С. В., Ющенко С. М.,

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Половецький С. В., Прибытько І. О., Нагорна І. В.; заявник і власник Чернігівський національний технологічний університет. № у 2016 13635; заявл. 30.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.

11. Новомлинець О. О. Наукові та технологічні основи отримання прецизійних нероз'ємних з'єднань зварюванням тиском: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології» / Донбас. держ. машинобуд. акад. Краматорськ, 2018. 354 с.

12. Ющенко С. М. Розробка технології прецизійного з'єднання алюмінієвих сплавів: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.03.06 «Зварювання та споріднені процеси і технології» / Донбас. держ. машинобуд. акад. Краматорськ, 2018. 169 с.

13. Novomlynets O. O., Oleksiienko S. V., Yushchenko S. M., Bolotov M. G., Nahorna I. V. Application of Resistance Welding Machines for Production of Precision Aluminium Joints. *The 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON): Conference proceedings*. Lviv, 2019. P. 502–506.

14. Рябов В. Р., Рабкин Д. М., Курочко Р. С., Стрижевская Л. Г. Сварка разнородных металлов и сплавов. Москва: Машиностроение, 1984. 239 с.

15. Овчинников В. В., Гуреева М. А. Современные материалы для сварных конструкций: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. 2-е изд. Москва: Академия, 2016. 304 с.

16. Биковський О. Г., Лутов Д. М., Пінковський І. В. Технологія та обладнання електричного контактного зварювання: навч. посіб. Київ: Техніка, 2001. 240 с.

### References

1. Dmitrov, L. N., Kuznetsov, Ye. V., Kobelev, A. G. et al. (1991). *Bimetally [Bimetals]*. Perm: PKI [in Russian].

2. Kaspar, J., Zimmermann M., Ostwaldt, A., Goebel, G., Standfub, J., & Brenner, B. (2014). *Challenges in Joining Aluminium with Copper for Applications in Electro Mobility*. Materials Science Forum, 783-786, 1747-1752.

3. Liakishev, N. P. (Ed.) (1996). *Diagramy sostoianniia dvoynykh metallicheskiikh sistem: spravochnik [Phase diagrams of metal systems: reference book]* (Vol. 1). Moscow: Mashinostroeniie [in Russian].

4. Kovshikov, E. K. (1990). *Novoie v tekhnologii diffuzionnogo soiedinieniia materialov [New in the technology of diffusion joining of materials]*. Moscow: Mashinostroeniie [in Russian].

5. Banov, M. D., Masakov, V. V. & Plusnina, N. P. (2009). *Spetsialnye sposoby svarki i rezki [Special methods of welding and cutting]*. Moscow: Academia [in Russian].

6. Kvasnitsky, V. V. (2003). *Spetsialnye sposoby svarki [Special welding processes]*. Nikolaiev: UDMTU [in Russian].

7. Kataiev, R. F., Miliutin, V. S., Bliznik & M. G. (2015). *Teoriia i tehnologiiia kontaktnoj svarka [Theory and technology of resistance welding]*. Ekaterinburg: Ural University Publishing house [in Russian].

8. Novomlynets, O., Oleksiinko, S., Yushchenko, S. & Polovetskiy E. (2017). Pretsyziyne elektrokontaktne zvariuvannia aliuminiievyh splaviv [Precision pressure welding of aluminium alloys]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technology*, 4 (10), 67-76 [in Ukrainian].

9. Novomlynets, O., Oleksiinko, S., Yushchenko, S., Baydala O. & Polovetskiy E. (2018). Zvariuvannia tyskom aliuminiievyh splaviv cherez modyfikovani poverhnevi shary [Precision welding of aluminium alloys through modified surface layers]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technology*, 3 (13), 123-131 [in Ukrainian].

10. Kharchenko, G. K., Novomlynets, O. O., Oleksiienko, S. V., Yushchenko, S. M., Polovetskiy, E. V., Prybytko, I. V. & Nahorna, I. V. (2017). Sposib elektrokontaktnoho stykovoho zvariuvannia oporom aliuminiu ta joho splaviv cherez prosharok [The method of electric resistance butt welding of aluminium and its alloys through interlayer]. *Patent № 117001 UA* [in Ukrainian].

11. Novomlynets, O. O. (2018). *Naukovi ta tehnolohichni osnovy otrymannia pretsyziinyh nerozjemnyh zjednan zvariuvanniam tyskom [Scientific and Technological Fundamentals of Producing Precise, Non-detachable Joints by Pressure Welding]*. (Doctor's thesis). Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk [in Ukrainian].

12. Yushchenko, S. M. (2018). *Rozrobka tehnolohii pretsyziynoho zjednannia aliuminiievyh splaviv [The development of precision joining technique of aluminium alloys]* (PhD Thesis). Donbass State Engineering Academy, Kramatorsk [in Ukrainian].

13. Riabov, V. R., Rabkin, D. M., Kurochko, R. S. & Strizhevskaya, L. G. (1984). *Svarka raznorodnyh metallov i splavov [Welding of heterogeneous metals and alloys]*. Moscow: Mashinostroeniie, 1984.

14. Ovchinnikov, V. V., Gurieieva, M. A. *Sovremennyye materialy dlia svarnykh konstruksij [Modern materials for welded structures]*. Moscow: Akademiia [in Russian].

15. Novomlynets, O. O., Oleksiienko, S.V., Yushchenko, S. M., Bolotov, M. G., Nahorna, I. V. *Application of Resistance Welding Machines for Production of Precision Aluminium Joints*, the 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON): Conference proceedings (Lviv, July 2-5, 2019). Lviv, Ivan Franko National University of Lviv.

16. Bykovskiy, O. G., Lutov, D. M. & Pinkovskiy, I. V. (2001). *Tehnolohiia ta obladnannia elektrychnoho kontaktного zvariuvannia [Technology and equipment of electric resistance welding]*. Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].

UDC 621.791.4

*Oleh Novomlynets, Svitlana Yushchenko,  
Serhii Oleksiienko, Evgen Polovetskiy, Ihor Alekseienko*

### NEW TECHNOLOGY OF PRESSURE WELDING OF ALUMINIUM WITH COPPER THROUGH INTERLAYER

**Urgency of the research.** *The modern rate of industrial development requires materials consumption lowering and simultaneous increase of technical features. Usage of bimetal joints in structure' units allows combining advantages of each material and providing high operational properties. One of the most widespread bimetals is the pair aluminum-copper. Therefore, the search of new methods of getting permanent joints of aluminum and copper is the actual task.*

**Target setting.** *The getting of qualitative permanent joints of heterogeneous materials is concerned with technological difficulties, which are produced by difference of physical-mechanical properties of materials. This problem complicates especially when the precision must be obtained.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Pressure welding methods, particularly resistance welding, allow avoiding mentioned problems, increasing the strength and achieving precision due to lower temperatures and lower duration of their action compared with fusion welding. In the previous works, we had developed the technology of precision of resistance welding of aluminum alloys through thin metal intermediate layer.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Electric resistance welding of aluminum with copper through thin metal interlayer is still uninvestigated.*

**The research objective.** *The research of pressure welding of aluminum and copper through interlayer, made of aluminum foil, with the aim of obtaining the joints with high strength and low level of deformation.*

**The statement of basic materials.** *The research have been carried out on the specimens of aluminum 1050A and copper Cu-ETP with usage of solid band of aluminium foil 1010 as interlayer. By carrying out of experiments the optimal welding conditions of resistance spot welding has been determined.*

**Conclusions.** *The technology of pressure welding of aluminum and copper through aluminum foil interlayer has been developed; it has been determined that using of interlayer allows to increase of heat input into the welding area and decrease the level of residual deformations; the microstructure of welded zone has been investigated; the strength of welded joints has been determined.*

**Keywords:** *aluminum; copper; pressure welding; intermediate layer; heat input; strength; precision.*

*Fig.: 3. Table: 2. References: 16.*

**Новомлинець Олег Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Novomlynets Oleh** – Doctor in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0774-434X>

**ResearcherID:** F-8166-2014

**Scopus Author ID:** 56938958300; 6507741249

**Ющенко Світлана Михайлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Yushchenko Svitlana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0863-9020>

**ResearcherID:** F-7741-2014

**Scopus Author ID:** 57190373626



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Олексієнко Сергій Владиславович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Oleksiienko Serhii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** sv.oleks@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5475-4439>

**ResearcherID:** F-8197-2014

**Scopus Author ID:** 57190370561

**Половецький Євген Вікторович** – кандидат технічних наук, науковий співробітник відділу фізико-хімічних методів дослідження матеріалів, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України (вул. К. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

**Polovetskiy Evgen** – PhD in Technical Sciences, senior researcher of the department of physical-chemical investigation methods of materials, The E. O. Paton electric welding institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Malevicha Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8113-0434>

**Researcher ID:** U-9135-2017

**Scopus Author ID:** 57207357916

**Алексєєнко Ігор Іванович** – молодший науковий співробітник відділу фізико-хімічних методів дослідження матеріалів, ІЕЗ ім. Є. О. Патона НАН України (вул. К. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

**Alekseienko Ihor** – junior researcher of the Department of physical-chemical investigation methods of materials, The E. O. Paton electric welding institute of the National Academy of Science of Ukraine (11 Malevicha Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** alex141274@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2595-1684>

УДК 621.791.75

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-18-21

Олександр Размишляєв, Віталій Іванов, Марина Агеєва

## ФОРМУВАННЯ ЗОНИ ПРОПЛАВЛЕННЯ ПРИ НУЛЬОВІЙ ШВИДКОСТІ ЕЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДРОТЯНИМ ЕЛЕКТРОДОМ ПІД ФЛЮСОМ

**Актуальність теми дослідження.** Дуже важливим є питання формування зварювальної ванни при нульовій швидкості наплавлення. Це пов'язано з тим, що процес наплавлення доцільно починати при нульовій швидкості переміщення дуги, щоб встановився розмір шва (валика) на початку виконання наплавлення.

**Постановка проблеми.** При формуванні зварювальної ванни при нульовій швидкості наплавлення буде виключена початкова ділянка шва, коли процес є несталим у тепловому сенсі. При цьому доцільно визначити час, протягом якого основний метал буде проплавлений до розмірів, що відповідають технічним вимогам, тобто при швидкості, встановленій для цього технологічного процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для процесу дугового наплавлення зазвичай використовують теорію теплових процесів, розроблену М. М. Рикаліним як для рухомої дуги зі швидкістю наплавлення, так і для нерухомої, коли швидкість наплавлення дорівнює нулю.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У літературі немає даних, присвячених питанню формування зварювальної ванни при нульовій швидкості дугового наплавлення під флюсом.

**Постановка завдання (цілей статті).** Аналіз можливості застосування відомої теорії розповсюдження тепла при зварюванні для визначення розмірів точки, що формується при нульовій швидкості дугового наплавлення.

**Виклад основного матеріалу.** На основі теорії розповсюдження тепла при зварюванні М. М. Рикаліна визначені зміни температури в часі залежно від радіуса точки, що формується. Співставленням розрахункових і експериментальних даних встановлено їх неспівпадання.

**Висновки відповідно до статті.** Визначено, що для встановлення розмірів зони проплавлення при дуговому наплавленні дротяним електродом під флюсом із нульовою швидкістю треба враховувати не тільки дифузійну (кондуктивну), а й конвективну складову перенесення тепла, яка виникає внаслідок руху металу у ванні.

**Ключові слова:** дугове наплавлення; дифузійний і конвективний механізми перенесення тепла; електромагнітні сили Лоренца.

Рис.: 2. Бібл.: 2.

**Актуальність теми дослідження.** Дуже важливим є питання формування зварювальної ванни при нульовій швидкості наплавлення. Це пов'язано з тим, що процес наплавлення доцільно починати при нульовій швидкості переміщення дуги, щоб встановився розмір шва (валика) на початку виконання наплавлення.

**Постановка проблеми.** При формуванні зварювальної ванни при нульовій швидкості наплавлення буде виключена початкова ділянка шва, коли процес є несталим у тепловому сенсі. При цьому доцільно визначити час, протягом якого основний метал буде проплавлений до розмірів, що відповідають технічним вимогам, тобто при швидкості, встановленій для цього технологічного процесу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для процесу дугового наплавлення зазвичай використовують теорію теплових процесів, розроблену М. М. Рикаліним [1] як для рухомої дуги зі швидкістю наплавлення, так і для нерухомої, коли швидкість наплавлення дорівнює нулю [1; 2].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У літературі немає даних, присвячених питанню формування зварювальної ванни при нульовій швидкості дугового наплавлення дротом під флюсом.

**Виклад основного матеріалу.** Є рішення для постійно діючого точкового джерела, розташованого на поверхні напівнескінченного тіла при нульовій швидкості наплавлення. У цьому випадку не враховується діаметр електрода, а використовується ефективна теплова потужність дуги ( $q_u$ ) і теплофізичні константи основного матеріалу. Приріст температури  $\Delta T$  в часі від безперервно діючого теплового джерела визначається за формулою [1; 2]:

$$\Delta T = \frac{q_u}{2\pi\lambda R}(1 - \Phi(u)), \tag{1}$$

де  $q_u = \eta_u I_n U_d$  – ефективна теплова потужність зварювальної дуги, Вт;

$I_n$  – струм наплавлення, А;

$U_d$  – напруга на дузі, В;

$\eta_u$  – ефективний ККД процесу нагрівання основного металу дугою;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·К;

$R$  – радіус-вектор від джерела тепла до розглянутої точки, м;

$a$  – коефіцієнт температуропровідності, м<sup>2</sup>/с;

$\Phi(u)$  – функція інтеграла ймовірності від аргументу  $u$ ,  $u = \frac{R}{\sqrt{4at}}$ ;

$t$  – час, с.

Були виконані розрахунки для випадку наплавлення дротом Св–08А діаметром 4 мм під шаром флюсу АН-60 постійним струмом зворотної полярності з такими параметрами режиму:  $I_n = 650$  А;  $U_d = 32$  В;  $v_n = 0$  м/с. Значення констант і теплофізичних коефіцієнтів:  $\eta_u = 0,9$ ;  $\lambda = 40$  Вт/м·К;  $a = 0,08 \cdot 10^{-4}$  м<sup>2</sup>/с.

Для порівняння результатів розрахунку з реальними значеннями були проведені експериментальні наплавлення з технологічними параметрами, які були наведені вище, на пластини з маловуглецевої сталі товщиною 20 мм. Після наплавлення виготовляли макрошліфи, за якими визначали параметри зони проплавлення. Отримані залежності геометричних параметрів наведені на рис. 1, 2 спільно з розрахунковими даними.

Дані розрахунків (рис. 1) показують, що для точок, що лежать на колі  $R = \text{const}$  ( $R = 2; 5; 7; 10$  мм) з плином часу температура точок неухильно зростає, що не відповідає реальним результатам, отриманим експериментальним шляхом, які свідчать про припинення росту глибини проплавлення і просування ізотерми плавлення  $T_{nl} = 1773$  К (1500 °С) вглиб основного металу.

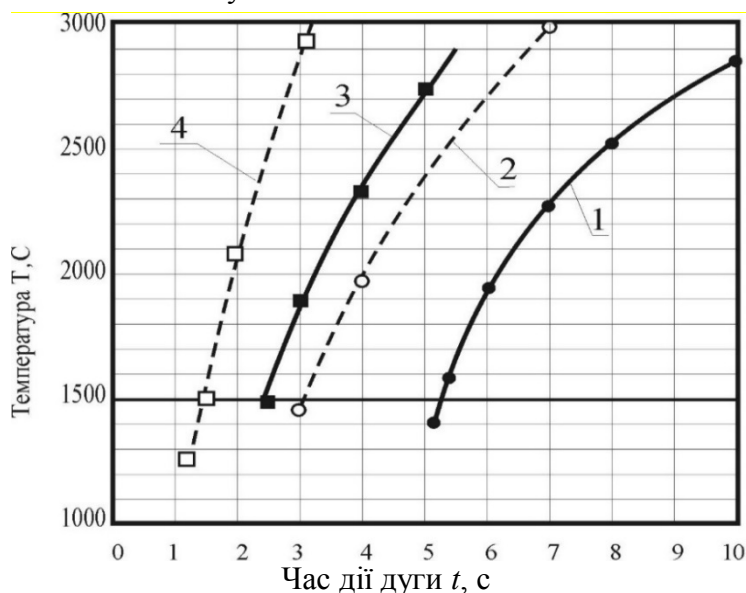


Рис. 1. Зміна температури в часі залежно від радіуса:  
1, 2, 3, 4 – відповідно,  $R = 10, 7, 5, 2$  мм

Просування фронту плавлення, тобто відстані від точки введення тепла в будь-якому напрямку відбувається в часі практично лінійно (рис. 2, крива 5), що не відповідає експериментальним даним (рис. 2, криві 2, 4). Також виявилось, що характер зміни розрахункового значення  $R(t)$  набагато різкіший, ніж за даними експерименту, і, навпаки, експериментальні значення глибини проплавлення ( $h_{пр}$ ) значно більші, ніж розрахункові.

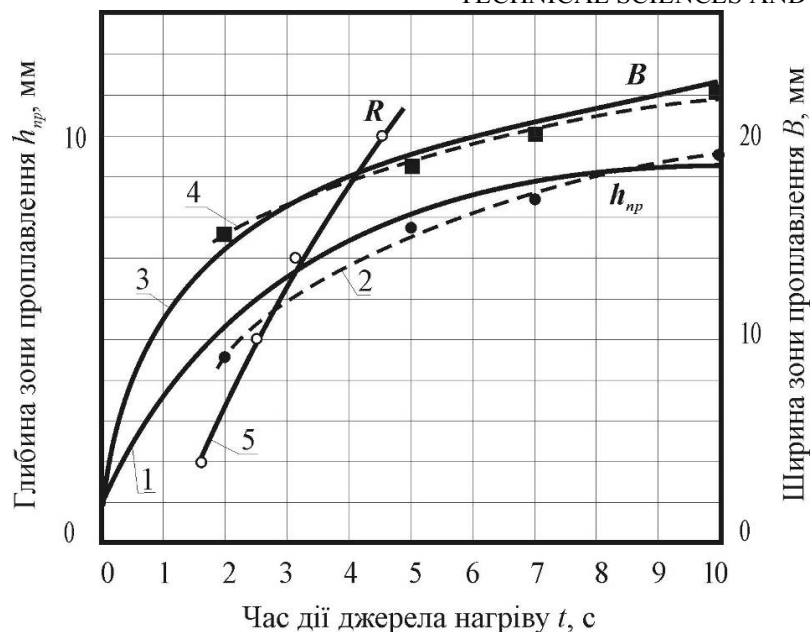


Рис. 2. Динаміка зростання розмірів зони проплавлення (ізотерми  $T_{пл} = 1773 \text{ K}$ ) залежно від часу дії нерухомого джерела нагрівання:  
 1, 2 – глибина проплавлення; 3, 4 – ширина проплавлення; 2, 4 – експериментальні дані;  
 5 – результати розрахунку за формулою (1)

Основна відмінність розрахункових даних від експериментальних значень полягає в тому, що приріст температури в кожній точці зони плавлення з плином часу продовжує зростати, хоч і обмежується значенням виразу  $\frac{q_u}{2\pi\lambda R}$ , наближаючись до нього при  $t \rightarrow \infty$ , досягаючи декілька хвилин.

Крім того, зміна в часі розрахункових контурів зони проплавлення не відповідає контурам, отриманим експериментальним шляхом, причому останні мають більш складну форму. Це пов'язано з наступним. При порушенні дуги в результаті плавлення основного металу в ньому утворюється лунка (початковий кратер), куди починає надходити розплавлений електродний метал, надаючи додаткове тепловкладення у ванну. Потім, на твердих стінках лунки, що утворюється, зростає прошарок рідкого металу, який негативно впливає на умови теплопередачі від дуги в основний метал. У період зростання зони проплавлення рідкий метал врівноважується тиском дуги й розташовується рівномірно на дні та стінках кратера. У міру збільшення обсягу рідкого металу зростає і його гідростатичний тиск, витісняючи дугу до верхньої частини кратера, тим самим ще більше уповільнюючи зростання глибини проплавлення аж до його зупинки. У міру зростання об'єму ванни в центрі зони проплавлення має місце характерне поглиблення, що виникає завдяки осьовому потоку електродного металу, а також наявності розвинених потоків рідкого металу, що призводить до відхилення контуру остаточної ізотерми плавлення від гладкої кривої другого порядку. При розрахунках також не врахований рух рідкого металу під дією електромагнітних сил Лоренца. Потoki рідкого металу в зварювальній ванні змінюють умови теплоперенесення в ній, тобто слід враховувати конвективний механізм теплоперенесення при формуванні розмірів ванни.

**Висновки відповідно до статті.** Розрахунками встановлено, що для розмірів зони проплавлення при дуговому наплавленні дротяним електродом під флюсом із нульовою швидкістю необхідно враховувати не тільки дифузійну (кондуктивну), а й конвективну складову перенесення тепла, яка виникає внаслідок руху металу у ванні.

**Список використаних джерел**

1. Фролов В. В. Теория сварочных процессов: учебник для вузов по специальности Оборудование и технология сварочного производства. Москва: Высшая школа, 1988. 559 с.
2. Karkhin V. A. Thermal Processes in Welding. Singapore: Springer. 2019. 492 p.

**References**

1. Razmyshlyayev, A. D., Mironova, M. V. (2009). *Magnitnoe upravlenie formirovaniem valikov i shvov pri dugovoi naplavke i svarke [Magnetic control of formation of beads and welds in arc surfacing and welding]*. Mariupol: PGU [in Russian].
2. Karkhin V. A. (2019). *Thermal Processes in Welding*. Singapore: Springer.

UDC 621.791.75

*Aleksandr Razmyshlyayev, Vitaliy Ivanov, Marina Ahieieva***FORMATION OF PENETRATION AREA AT ZERO VELOCITY OF SUBMERGED ELECTRIC ARC SURFACING WITH WIRE ELECTRODE**

**Urgency of the research.** Very important is the question of the welding bath formation at zero surfacing velocity. This is due to the fact that the surfacing process is advisable to start at zero velocity of the arc to establish the size of the weld (beam) at the surfacing beginning.

**Target setting.** When forming a welding bath at zero surfacing velocity, the initial weld section will be excluded when the process is unstable in the thermal sense. In this case, it is advisable to determine the time during which the base metal will be smelted to the size corresponding to the specifications, that is, at the velocity set for this technological process.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The theory of thermal processes, developed by N.N. Rykalin, is usually used for the arc surfacing process both for a moving arc with a surfacing velocity and for a stationary one when the surfacing velocity is zero.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There is no data in the literature concerning the welding bath formation at zero velocity of submerged arc surfacing.

**The research objective.** Analysis of the possibility of applying the heat spread theory in welding to determine the size of the forming point at zero velocity of arc surfacing.

**The statement of basic materials.** Based on the theory of heat spread during welding by N.N. Rykalin defined changes in temperature over time depending on the radius of the forming point. Matching of the calculated and experimental data established their mismatch.

**Conclusions.** It has been stated that in order to establish the dimensions of the penetration zone during submerged arc surfacing with a wire electrode at zero velocity, not only the diffusion (conductive), but also the convective component of heat transfer, which occurs as a result of the metal movement in the bath, should be taken into account.

**Keywords:** arc surfacing; diffuse and convective heat transfer mechanisms; electromagnetic Lorentz forces.

Fig.: 2. References: 2.

**Размишляев Александр Денисович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та механізації зварювального виробництва, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна).

**Razmyshlyayev Aleksandr** – Doctor in Technical science, Professor, Professor of automation and mechanization of welding production department, State Higher Educational Institution «Pryazovskyi state technical university» (7 Universitetska Str, 87555 Mariupol, Ukraine).

**E-mail:** razmyshlyayev@rambler.ru

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6616-7717>

**SCOPUS Author ID:** 6602501672

**Іванов Віталій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автоматизації та механізації зварювального виробництва, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна).

**Ivanov Vitaliy** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of automation and mechanization of welding production department, State Higher Educational Institution «Pryazovskyi state technical university» (7 Universitetska Str, 87555 Mariupol, Ukraine).

**E-mail:** ivital64@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3339-7633>

**SCOPUS Author ID:** 56496036500

**Агєєва Марина Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання і технологій зварювального виробництва, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84300 Україна).

**Ahieieva Marina** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of equipment and technology of welding production department, Donbass state engineering academy (72 Akademicheska Str., 84300 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** maryna\_ah@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8275-6781>

**SCOPUS Author ID:** 57197921565

УДК 621.791.75

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-22-27

*Марина Агеева, Александр Размышляев*

## ВЛИЯНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ РАСПЛАВЛЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ПРИ ДУГОВОЙ НАПЛАВКЕ

**Актуальность темы исследования.** Применение управляющих продольного магнитного поля (ПрМП) и поперечного магнитного поля (ПоМП) при электродуговой наплавке и сварке проволокой под флюсом обеспечивает ряд технологических преимуществ. Применение ПрМП и ПоМП при дуговой наплавке и сварке проволокой под флюсом позволяет увеличить коэффициент расплавления проволоки, управлять глубиной и площадью зоны проплавления основного металла, измельчать структурные составляющие наплавленного металла (шва).

**Постановка проблемы.** Повышение производительности процесса дуговой сварки и наплавки под флюсом определяется интенсифицированием процесса расплавления проволоки. Совместное влияние ПрМП и ПоМП, то есть комбинированное магнитное поле, позволит в большей степени увеличить коэффициент расплавления проволоки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В последних публикациях исследовано влияние ПрМП и ПоМП на коэффициент расплавления проволоки при дуговой сварке и наплавки под флюсом. Применение управляющих комбинированных магнитных полей при дуговой сварке исследовано для сварки неплавящимся электродом.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Практически нет работ, в которых бы изучалось совместное влияние ПрМП и ПоМП, то есть комбинированного магнитного поля (КМП) на коэффициент расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке и сварке под флюсом.

**Постановка задачи.** Определение влияния комбинированного магнитного поля на коэффициент расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под слоем флюса.

**Изложение основного материала.** Сконструировано устройство для создания КМП. Исследовано распределение компонент индукции КМП, а также влияние КМП на коэффициент расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под слоем флюса для ферромагнитных и неферромагнитных проволок.

**Выводы в соответствии со статьей.** Определены значения коэффициента расплавления проволок как ферромагнитных, так и неферромагнитных при дуговой наплавке под флюсом.

**Ключевые слова:** дуговая наплавка; комбинированное магнитное поле; индукция; коэффициент расплавления проволоки.

*Рис.: 3. Библ.: 7.*

**Актуальность темы исследования.** Применение управляющих продольного магнитного поля (ПрМП) и поперечного магнитного поля (ПоМП) при электродуговой наплавке и сварке проволокой под флюсом обеспечивает ряд технологических преимуществ, краткий обзор которых приведен в работах [1, 2]. Применение ПрМП и ПоМП при дуговой наплавке и сварке проволокой под флюсом позволяет увеличить коэффициент расплавления проволоки, управлять глубиной и площадью зоны проплавления основного металла, измельчать структурные составляющие наплавленного металла (шва) [1-5].

**Постановка проблемы.** Повышение производительности процесса дуговой наплавки и сварки под флюсом определяется интенсифицированием процесса расплавления проволоки. Совместное влияние ПрМП и ПоМП, т.е. комбинированное магнитное поле позволит в большей степени увеличить коэффициент расплавления проволоки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Применение управляющих комбинированных магнитных полей при дуговой сварке отражено в работах [6; 7]. Однако эти данные относятся к сварке неплавящимся электродом. В работе [1] показано, что знакопеременное ПрМП частотой  $f = 50$  Гц обеспечивает повышение коэффициента расплавления проволоки ( $\alpha_p$ ) на 18...20 %, а постоянное ПрМП – на 30 %. С воздействием постоянного ПоМП при наплавке эффект повышения  $\alpha_p$  составляет 27...30 %, а при частоте 50 Гц эффект повышения  $\alpha_p$  снижается до 0 [2].

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Однако нет работ, в которых бы изучалось совместное влияние ПрМП и ПоМП, то есть комбинированного магнитного поля (КМП) на коэффициент расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  при дуговой наплавке и сварке под флюсом. Это потребовало выполнения исследований, результаты которых изложены в данной работе.

**Постановка задания (цель статьи).** Целью настоящей работы является определение влияния комбинированного магнитного поля на коэффициент расплавления электродной проволоки при дуговой наплавке под слоем флюса.

**Изложение основного материала.** Для создания КМП использовали устройства, генерирующие отдельно ПрМП и ПоМП. Схема и конструкция устройства, генерирующего КМП, приведены на рис. 1.

Для создания ПрМП в устройстве, представленном на рис. 1, использовалась четырехслойная обмотка 1 с числом витков 144. Обмотка выполнена из медной проволоки диаметром 2 мм, которая изолирована от ферросердечника 2 с помощью изолятора 3. Ферросердечник 2 с наружным диаметром 52 мм и внутренним диаметром 24 мм изготовлен из стали типа Ст.3. Ферросердечник имеет внизу буртик 4 для удержания обмотки 1. Соленоид крепился на автомат типа АДС-1002 с помощью болтовых соединений. Сердечник имел внутри отверстие, в котором проходил мундштук 5 с токоподводящими губками 6. Внутри мундштука проходила электродная проволока 7.

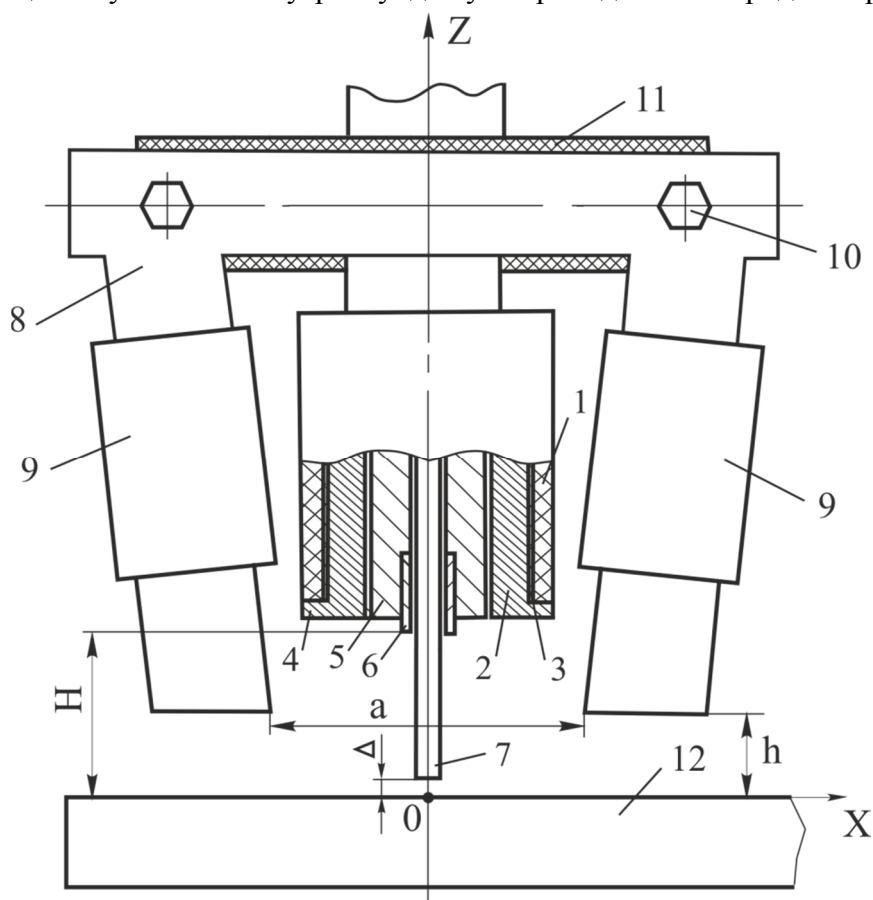


Рис. 1. Схема устройства, генерирующего КМП:

- 1 – четырехслойная обмотка, 2 – ферросердечник, 3 – изолятор, 4 – буртик, 5 – мундштук,  
6 – токопроводящие губки, 7 – электродная проволока, 8 – магнитопровод,  
9 – наклонные участки с обмоткой, 10 – болты, 11 – изолятор, 12 – пластина

Для создания ПоМП в устройстве, представленном на рис. 1, используется магнитопровод 8, состоящий из трёх участков. Два наклонных участка, на которых размещены обмотки 9, а также горизонтальный участок, соединенный с наклонными с помощью болтовых соединений 10. Магнитопровод собран из пластин электротехнической стали толщиной 0,5 мм. Сечение набора 30×20 мм. Две обмотки 9 выполнены двухслойно из медного изолированного провода диаметром 2 мм. Количество витков в одной обмотке составляло  $W = 70$ .

Соленоид с ферросердечником, генерирующий ПрМП, и устройство, генерирующее ПоМП, крепили на сварочный автомат типа АДС-1002. При этом магнитопровод 8 изолировался от автомата изолятором 11. Автомат позволял изменять параметр  $H$  (вылет электрода), т.е. расстояние между токоподводящими губками 6 и пластиной 12, а также  $h$  – расстояние от торцов магнитопровода 8 до поверхности пластины 12. Конструкция устройства позволяла изменять расстояние между нижними участками магнитопровода у торца электрода (параметр  $a$ ). Электродная проволока 7 проходила через токоподводящие мунштук 5 и губки 6.

На рис. 1 приведена также система координат, принятая для исследования магнитного поля. При этом начало координат располагалось на поверхности пластины под осью электрода. Для изучения конфигурации КМП в зоне капли и дуги проводились измерения компоненты индукции вдоль оси  $OX$  ( $B_x$ ) и продольной ( $B_z$ ) компоненты индукции вдоль оси  $OZ$ . Во всех экспериментах сохраняли постоянными параметры  $I_k = 45$  А;  $H = 35$  мм;  $a = 70$  мм;  $h = 25$  мм. Катушки устройств, генерирующих ПрМП и ПоМП, были включены последовательно. Во всех экспериментах через катушки пропускали переменный ток  $I_k = 20$  А частотой  $f = 5$  Гц от генератора прямоугольных импульсов, конструкция которого описана в работе [2].

Измерения компонент индукции  $B_x$  и  $B_z$  проводили универсальным тесламетром типа 43205 с датчиком Холла, имевшим измерительную базу  $0,9 \times 0,9$  мм. Измерения проводились при  $Z = 0$ ;  $Y = 0$ : вдоль оси  $OX$  через 5 мм. В исследованиях использовалась ферромагнитная сварочная проволока Св-08ГА диаметром 4 мм, а в качестве основного металла - пластины из немагнитной стали Ст.12Х18Н10Т толщиной 10...20 мм.

Исследовали распределение компонент индукции  $B_x$  и  $B_z$ , которые генерирует каждое составляющее КМП, то есть отдельно ПрМП и ПоМП, а также при их совместном согласованном действии.

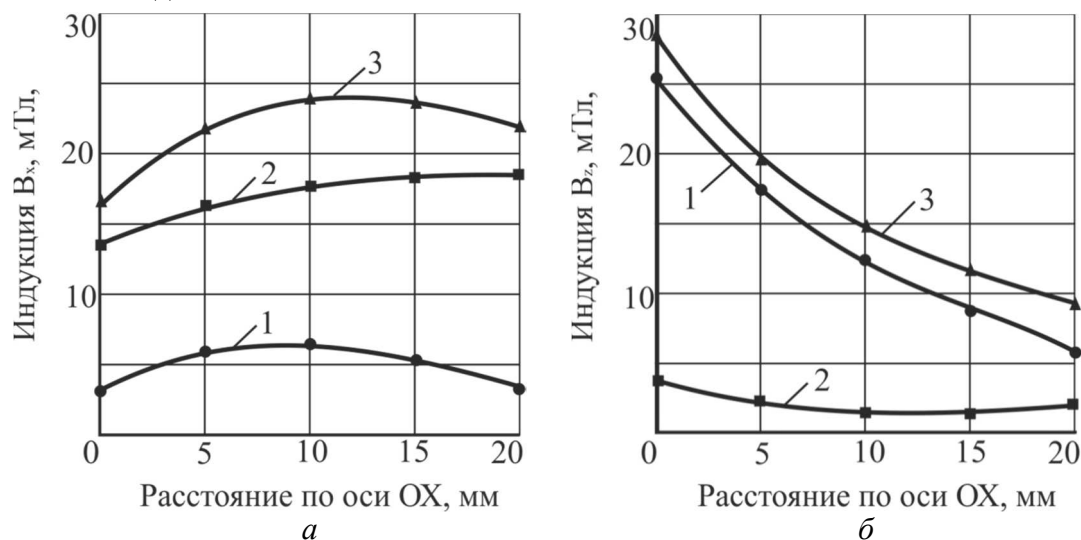


Рис. 2. Распределение компонент индукции  $B_x$  (а) и  $B_z$  (б) вдоль оси  $OX$  при воздействии КМП ( $I_k=45$  А;  $H=35$  мм;  $a=70$  мм;  $h=25$  мм;  $Z=0$ ;  $Y=0$ ):  
1 – ПрМП; 2 – ПоМП; 3 – КМП

Данные измерений показали, что компонента индукции  $B_x$  значительно больше при воздействии ПоМП, чем при воздействии ПрМП (рис. 2, а – кривые 1, 2). Компонента индукции  $B_z$  значительно больше при воздействии ПрМП (рис. 2, б – кривые 1, 2). Таким образом, каждое из составляющих КМП (ПрМП и ПоМП) генерирует определённый уровень одной из компонент индукции  $B_x$  или  $B_z$ , а при совместном действии ПрМП и ПоМП, эти компоненты индукции суммируются (рис. 2, а и б – кривые 3).



Исследовали коэффициент расплавления электродного металла  $\alpha_p$  при воздействии КМП. Эксперименты выполнялись с использованием знакопеременного КМП частотой  $f = 5$  Гц, поскольку при этом обеспечивается хорошее формирование наплавленного валика [1]. Выполняли экспериментальные наплавки автоматом АДС-1002 с независимой от напряжения дуги скоростью подачи электрода от выпрямителя ВДУ-1201 (с падающей внешней характеристикой на обратной полярности) под флюсом АН-348А. Во всех экспериментах параметры режима наплавки без воздействия магнитного поля устанавливались предварительно по стрелочным приборам, и они составляли при диаметре проволоки  $d_0 = 4$  мм:  $I_n = 500 \dots 520$  А;  $U_0 = 28 \dots 30$  В. Скорость наплавки  $V_n = 30$  м/ч. Продолжительность процесса наплавки составляла не менее 30 с. Выполняли 3...5 наплавок на каждом режиме. Параметры  $H$ ,  $a$ ,  $I_k$  и  $h$  сохраняли постоянными, соответственно  $H = 35$  мм;  $a = 70$  мм;  $I_k = 45$  А. Во всех экспериментах использовали ферромагнитную проволоку Св-08ГА диаметром 4 мм и пластины из немагнитной стали Ст.12Х18Н10Т.

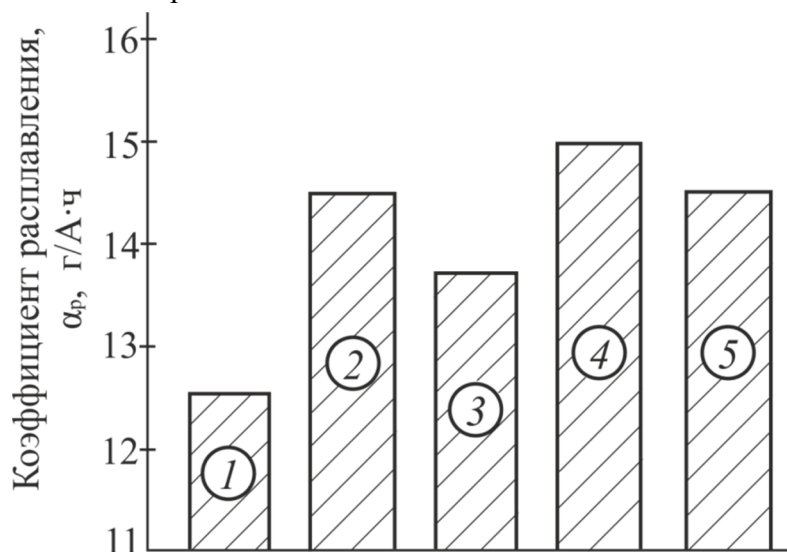


Рис. 3. Коэффициент расплавления электродного металла  $\alpha_p$  при наплавке под флюсом:

1 – без воздействия магнитного поля; 2 – с воздействием ПрМП; 3 – с воздействием ПоМП;

4 – с воздействием КМП; 5 – с воздействием КМП (проволока 06Х18Н9Т диаметром 4 мм)

Анализируя результаты, полученные в экспериментах с воздействием КМП, ПрМП и ПоМП, можно отметить, что при воздействии одного ПрМП с индукцией  $B_z = 25$  мТл, повышение коэффициента расплавления электродного металла  $\alpha_p$  составило около 18 % (14,5 г/А·ч) (рис. 3, столбик 2). При воздействии ПоМП с величиной компоненты индукции  $B_x = 15$  мТл, повышение  $\alpha_p$  составило 10 % (13,7 г/А·ч) (рис. 3 – столбик 3). При воздействии КМП значения  $\alpha_p$  было несколько больше, чем в двух предыдущих случаях, и оно составило 15 г/А·ч (рис. 3, столбик 4, повышение  $\alpha_p$  на 21 %).

Таким образом, при воздействии КМП уровень коэффициента расплавления электродной проволоки  $\alpha_p$  выше по отношению к вариантам, когда отдельно использовалось ПрМП или ПоМП.

Выполняли также наплавки проволокой Св-06Х18Н9Т (немагнитной) диаметром 4 мм с воздействием КМП на том же режиме, что и при наплавке проволокой Св-08ГА. Получено приращение  $\alpha_p$  от 13 г/А·ч (без воздействия КМП) до 14,5 г/А·ч при воздействии КМП (рис. 3, столбик 5), то есть на 11,3 % (при уровне  $B_x = 15$  мТл). Поскольку ПрМП не повышает  $\alpha_p$  при наплавке немагнитными проволоками [1], то этот эффект приращения  $\alpha_p$  при наплавке с воздействием КМП обусловлен воздействием компоненты  $B_x$  (в основном от ПоМП). Таким образом, КМП целесообразно применять при наплавке не только ферромагнитными проволоками (Св-08ГА), но и неферромагнитными проволоками (Св-06Х18Н9Т).

**Выводы в соответствии со статьёй.** При дуговой наплавке под слоем флюса с воздействием внешних магнитных полей частотой 5 Гц повышение коэффициента расплавления ( $\alpha_p$ ) проволоки Св-08ГА составило 18 % при воздействии ПРМП и 10 % при воздействии ПОМП, а при воздействии КМП (комбинации ПрМП и ПоМП) – 21 %. При наплавке немагнитной проволокой (Св-06Х18Н9Т) воздействие КМП обеспечило повышение  $\alpha_p$  на 11,3 %.

При дуговой наплавке с целью повышения коэффициента расплавления  $\alpha_p$  использование КМП целесообразно для проволок как ферромагнитных, так и неферромагнитных.

#### Список использованных источников

1. Размышляев А. Д., Миронова М. В. Магнитное управление формированием валиков и швов при дуговой наплавке и сварке: монография. Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2009. 242 с.
2. Размышляев А. Д., Выдмыш П. А., Агеева М. В. Автоматическая электродуговая сварка под флюсом с воздействием внешнего магнитного поля: монография. Мариуполь: Изд-во ПГТУ, 2017. 209 с.
3. Razmyshlyayev A. D., Mironova M. V. Efficiency of the process of penetration of the parent metal in submerged-arc surfacing. *Welding International*. 2012. Vol. 26, № 11. P. 862–866.
4. Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Chernykh A. V. Special features of melting electrode metal when welding in an external longitudinal magnetic field. *Welding International*. 1992. Vol. 6, № 10. P. 812–814.
5. Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Martynenko A. I. Examination of the effect of the alternating axial magnetic field on the process of melting of electrode wire. *Welding International*. 2009. Vol. 23, № 3. P. 223–224.
6. Рыжов Р. Н. Применение комбинированных электромагнитных воздействий для улучшения качества швов при сварке неплавящимся электродом. *Автоматическая сварка*. 2005. № 7. С. 59–61.
7. Рижов Р. М., Кузнецов В. Д. Магнітне керування якістю зварних з'єднань. Київ: Екотехнологія, 2010. 284 с.

#### References

1. Razmyshlyayev, A. D., Mironova, M. V. (2009). *Magnitnoe upravlenie formirovaniem valikov i shvov pri dugovoi naplavke i svarke [Magnetic control of formation of beads and welds in arc surfacing and welding]*. Mariupol: PGTU [in Russian].
2. Razmyshlyayev, A. D., Vydmysh P.A., Ahieieva M.V. (2017). *Avtomaticheskaia elektrodugovaia svarka pod fliusom s vozdeistviem vneshnego magnitnogo polia [Automatic submerged arc welding with the act of external magnetic field]*. Mariupol: PGTU [in Russian].
3. Razmyshlyayev A.D., Mironova M.V. (2012). Efficiency of the process of penetration of the parent metal in submerged-arc surfacing. *Welding International*, 26, 11, 862–866.
4. Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Chernykh A. V. (1992) Special features of melting electrode metal when welding in an external longitudinal magnetic field. *Welding International*, 6, 10, 812–814.
5. Boldyrev A. M., Birzhev V. A., Martynenko A. I. (2009). Examination of the effect of the alternating axial magnetic field on the process of melting of electrode wire. *Welding International*, 23, 3, 22–224.
6. Ryzhov, R. N. (2005). *Primenenie kombinirovannykh elektromagnitnykh vozdeistvii dlia uluchsheniia kachestva shvov pri svarke neplaviashchimsia elektrodom [The use of combined electromagnetic effects for improving the quality of welds at welding with a non-consumable electrode]. Avtomaticheskaja svarka – The Paton Welding J.*, 7, 59–61 [in Russian].
7. Ryzhov, R. M., Kuznetsov, V. D. (2010). *Mahnitne keruvannia yakistiu zvarnykh ziednan [Magnetic control of welded joints quality]*. Kyiv: Ekotekhnolohiia [in Ukrainian].

UDC 621.791.75

*Marina Ahieieva, Aleksandr Razmyshlyayev*

### THE COMBINED MAGNETIC FIELD INFLUENCE ON THE WELD MELTING PRODUCTIVITY AT ARC SURFACING

**Urgency of the research.** The use of longitudinal magnetic field (LMF) and transverse magnetic field (TMF) at submerged arc surfacing and welding provides a number of technological advantages. The use of LMF and TMF at submerged

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

arc surfacing and welding allows to increase the wire melting coefficient, control the depth and area of the penetration zone of the base metal, grind the structural components of the surfaced metal (weld).

**Target setting.** The increase of productivity of the submerged arc welding and surfacing process is determined by the intensification of wire melting process. The combined effect of LMF and TMF, i.e. combined magnetic field will allow to increase the wire melting coefficient to a greater extent.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In recent publications, the effect of LMF and TMF on the wire melting coefficient at submerged arc welding and surfacing has been investigated. The use of combined magnetic fields in arc welding has been investigated for non-consumable electrode welding.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There are practically no works that would study the combined effect of LMF and TMF, i.e., a combined magnetic field (CMF) on the electrode wire melting coefficient at submerged arc surfacing and welding.

**The research objective.** Determination of the combined magnetic field influence on the electrode wire melting coefficient at submerged arc surfacing.

**The statement of basic materials.** Designed a device for creating the CMF. The distribution of the CMF induction components, as well as the CMF influence on the electrode wire melting coefficient at submerged arc surfacing for ferromagnetic and non-ferromagnetic wires is studied.

**Conclusions.** The values of the wires melting coefficient, both ferromagnetic and non-ferromagnetic, are determined for submerged arc surfacing.

**Keywords:** arc surfacing; combined magnetic field; induction; wire fusion coefficient.

**Fig.:** 3. **References:** 7.

**Агеєва Марина Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обладнання і технологій зварювального виробництва, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84300 Україна)

**Ahieieva Marina** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of equipment and technology of welding production department, Donbass state engineering academy (72 Akademicheska Str., 84300 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** maryna\_ah@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8275-6781>

**SCOPUS Author ID:** 57197921565

**Размышляев Александр Денисович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри автоматизації та механізації зварювального виробництва, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» (вул. Університетська, 7, м. Маріуполь, 87555, Україна).

**Razmyshlyayev Aleksandr** – Doctor in Technical science, Professor, Professor of automation and mechanization of welding production department, State Higher Educational Institution «Pryazovskyi state technical university» (7 Universitetska Str, 87555 Mariupol, Ukraine).

**E-mail:** razmyshlyayev@rambler.ru

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6616-7717>

**SCOPUS Author ID:** 6602501672

УДК 629.113

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-28-35

Володимир Венжега, Геннадій Пасов

**ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ НА ДОВКІЛЛЯ**

**Актуальність теми дослідження.** Автомобільний транспорт входить до розвинутої транспортної системи України. Але разом із багатьма перевагами, які забезпечує автомобільний транспорт, він має шкідливий вплив на довкілля.

**Постановка проблеми.** Однією з головних вимог, що ставляться до автомобільного транспорту, є забезпечення безпечних перевезень пасажирів і вантажів при мінімальній собівартості з найменшою шкодою для навколишнього середовища.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Впливу автомобільного транспорту на забруднення навколишнього середовища присвячено багато праць науковців. Результати досліджень наведено в наукових журналах, навчальних посібниках і підручниках з екології, але вони здебільшого фрагментарні і не висвітлюють проблему в цілому.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розглядати автомобільний транспорт треба в контексті, як індустрію, пов'язану з виробництвом, обслуговуванням і ремонтом автомобілів, їх експлуатацією, виробництвом пально-мастильних матеріалів, із розвитком і експлуатацією дорожньо-транспортної мережі й ін.

**Постановка завдання.** Провести аналіз чинників та запропонувати систему заходів із мінімізації шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище протягом всього життєвого циклу автомобіля.

**Виклад основного матеріалу.** Транспортний комплекс – одне з найпотужніших джерел забруднення навколишнього середовища. Автомобільний транспорт належить до головних забруднювачів атмосферного повітря, водойм і ґрунту. Відбувається деградація і загибель екосистем під впливом транспортних забруднень, що особливо інтенсивні на урбанізованих територіях. Гостро постає проблема утилізації і переробки відходів, що виникають під час експлуатації транспортних засобів, зокрема й після завершення строку їх служби. Крім того, транспорт – основне джерело шуму в містах, а також джерело теплового забруднення.

**Висновки відповідно до статті.** У роботі здійснено комплексний підхід до вирішення проблеми зменшення впливу автомобільного транспорту на довкілля шляхом повного врахування всіх шкідливих факторів, пов'язаних із виробництвом, експлуатацією, технічним обслуговуванням, ремонтом, утилізацією автомобілів, виробництвом та забезпеченням пально-мастильними та експлуатаційними матеріалами, експлуатацією та підтримкою дорожньо-транспортної мережі.

**Ключові слова:** автомобільний транспорт; шкідливий вплив автомобільного транспорту на довкілля; екологічність автомобіля; утилізація автомобілів.

Рис.: 1. Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** У сфері народногосподарського комплексу однією з провідних галузей є транспорт. Він бере участь у створенні продукції та доставці її споживачам, здійснює зв'язок між різними галузями господарства, між регіонами та країнами. Розширення та удосконалення територіального поділу праці великою мірою залежить від рівня розвитку транспорту. Транспорт складається з окремих видів, таких як: залізничного, автомобільного, морського, річкового, трубопровідного, повітряного й ін. Вказані види транспорту взаємодіють між собою, утворюючи транспортну систему. Автомобільний транспорт – галузь транспорту, яка забезпечує задоволення потреб населення та суспільного виробництва в перевезеннях пасажирів та вантажів автомобільними транспортними засобами. Велика протяжність автомобільних доріг забезпечує можливість їх повсюдної експлуатації при значній перевізній здатності. Маневреність, мобільність, високі швидкості доставки вантажів і перевезення пасажирів, комфорт поїздки та інші позитивні якості автомобільного транспорту забезпечили йому підвищені темпи зростання, але водночас він має шкідливий вплив на довкілля.

**Постановка проблеми.** Поряд із перевагами, які забезпечує суспільству розвинута транспортна мережа, її прогрес так само супроводжується негативними наслідками – негативним впливом транспорту на навколишнє середовище. Автомобільний парк, є практично основним джерелом забруднення навколишнього середовища, а також одним із джерел, що створює високий рівень шуму й вібрацію. Екологічні збитки від експлуатації автотранспортних засобів зумовлені токсичними викидами. У багатьох великих містах на частку автотранспорту доводиться понад 70 % від загальної кількості викидів забруднюючих речовин в атмосферу. Будучи найбільшим споживачем природного палива, автотранспорт істотно впливає на збільшення концентрації в атмосфері вуглекислого газу і, тим самим, на процес глобального потепління клімату у світі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] обґрунтовано актуальність проблеми екологічної безпеки автомобільного транспорту, проаналізовано життєвий цикл автомобіля, вплив його експлуатації на довкілля, визначено напрями та заходи щодо підвищеної екологічної безпеки автомобільного транспорту.

Проблема забруднення атмосфери вихлопними газами моторного транспорту проаналізована в роботі [2]. Розглянуто питання впливу на стан атмосфери складу вихлопних газів різних видів моторних транспортних засобів та основні заходи й методи щодо зниження шкідливого впливу моторного транспорту на атмосферне повітря. Для очищення вихлопних газів моторної техніки запропоновано використовувати власне удосконалений метод осушування паливно-мастильних матеріалів, який полягав у тому, що замість генератора нейтральних газів запропоновано використовувати вихлопні гази моторної техніки, які заздалегідь очищуються від  $\text{CO}_2$  в каталізаторах очищення вихлопних газів.

Вплив автотранспортних засобів на довкілля в житлових масивах міст у взаємозв'язку з вулично-дорожньою сіткою розглядається в роботі [3]. Запропоновано враховувати транспортну густину автошляхів для моделювання руху автомобілів, що дає можливість більш точно визначати забруднення довкілля з врахуванням транспортно-експлуатаційних показників доріг.

Робота [4] присвячена проблемам утилізації автомобілів в Україні. Розглядається утилізація автомобілів як один із заходів збереження довкілля. Досліджено закордонний досвід переробки транспортних засобів на завершальному етапі життєвого циклу та шляхи його впровадження в Україні відповідно до прийнятого Верховною Радою України Закону «Про утилізацію транспортних засобів».

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дослідження впливу автомобільного транспорту на довкілля та здоров'я людей є досить актуальною проблемою і розглядається в багатьох наукових працях [2; 3]. Але більшість досліджень присвячена забрудненню атмосферного повітря відпрацьованими газами, в той час як інші шкідливі фактори майже не враховуються.

Відомі результати роботи [4], де автори працювали над проблемою зменшення впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище за рахунок вирішення питання про утилізацію транспортних засобів в Україні. У цій статті ці результати доповнено.

**Мета статті.** Головною метою роботи є проведення дослідження шкідливого впливу автомобільного транспорту на навколишнє середовище на етапах проектування, виробництва та експлуатації та розгляд заходів щодо підвищення екологічної безпеки.

**Виклад основного матеріалу.** Однією з найбільш важливих експлуатаційних властивостей автомобільного транспорту, що визначає його якість та безпечність, є екологічність. Міжнародні стандарти на системи якості вводять поняття так званої «петлі якості», що встановлює вимоги до продукції, процесів або послуг на всіх стадіях їх життєвого циклу (рис. 1), починаючи з проектування і закінчуючи утилізацією. Це повною мірою відноситься і до автомобільного транспорту.

Автомобільний транспорт треба розглядати в комплексі, як індустрію, пов'язану з виробництвом, технічним обслуговуванням і ремонтом, експлуатацією, утилізацією автомобілів, виробництвом паливно-мастильних та експлуатаційних матеріалів, будівництвом та обслуговуванням дорожньо-транспортної мережі.

Узагальнено можна сформулювати такі негативні впливи автомобілів на довкілля.

Перша група пов'язана з виробництвом автомобілів. На автомобілебудівних підприємствах джерелами викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря є технологічне обладнання й агрегати, що застосовуються у виробництві заготовок, у ковальсько-пресових, термічних, гальванічних, механоскладальних, зварювальних, лакофарбових і ливарних цехах [5]. Частка підприємств машинобудування в загальному обсязі викидів шкідливих речовин в атмосферу не перевищує 3 %. Передусім, це відхідні гази чавуно-

ливарного та сталеливарного виробництва. На 1 т чавуну припадає 10–12 кг пилу і 150 кг чадного газу, а на 1 т сталі, відповідно, 6–8 і 50 кг. Внаслідок роботи технологічного устаткування в атмосферу надходять масла, пари, аміак, ціаністий водень, аерозолі, флориди, металевий та абразивний пил, уайт-спірит, сірководень, двооксид сірки, оксиди азоту й інші шкідливі речовини. На підприємствах машинобудування накопичується значна кількість твердих відходів, зокрема: амортизаційний брут, як результат заміни зношених деталей і модернізації обладнання; відходи від виробництва прокату; відходи лиття; відходи від механічної обробки заготовок на верстатах.

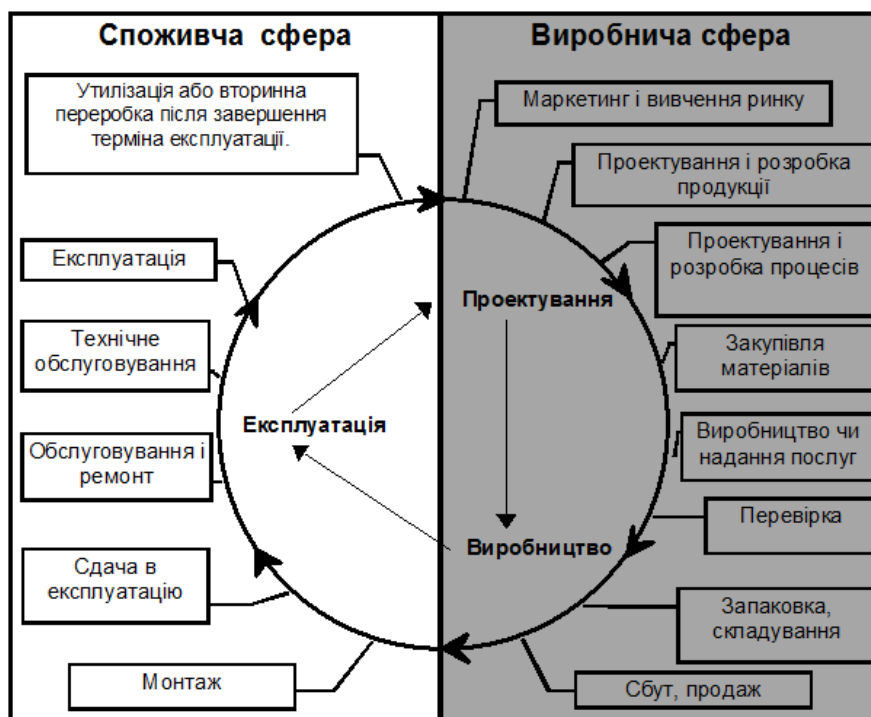


Рис. 1. Петля якості

Однією із причин забруднення навколишнього середовища підприємствами машинобудування є неочищені стічні води, що скидаються у водоймища й порушують біорівновагу. У складі стічних вод машинобудівних заводів переважають: кремнезем, оксиди заліза, алюмінію, кальцію, магнію (виробництво литва); мастила й окалина (прокатне виробництво); кальцинована сода, фосфат натрію, триетаноламін, металевий та абразивний пил, мінеральні мастила (механічне виробництво); ціаніди, сірчана та азотна кислоти, мідь, нікель, олово, хром, цинк (гальванічне й лакофарбове виробництво).

Використання металевих відходів у машинобудуванні сприяє скороченню енергоємності, трудомісткості й собівартості продукції. Ефективним засобом є утилізація відходів без переплавки з попереднім їх сортуванням. Для переробки складного за вмістом металобрухту особливе значення має застосування криогенної технології, що ґрунтується на фізичних властивостях вторинних металевих і неметалевих відходів із наступним їх охолодженням до дуже низьких температур. Найбільш прогресивною технологією переробки стружки під тиском є порошкова технологія, що дозволяє в багатьох випадках обійтися без лиття деталей. Тверді відходи ливарного виробництва залежно від вигляду та стану можна утилізувати також переплавою на основі технологічного процесу регенерації піску формувальних сумішей. Утилізації підлягають також тверді відходи полімерних матеріалів, гумотехнічні відходи й відходи деревини. Дедалі більшого значення набуває регенерація відпрацьованих мастил.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Витрати свіжої води на машинобудівних підприємствах у процесі знежирювання, травлення, гальванічного нанесення покриттів значно скорочуються завдяки застосуванню струминної, водоповітряної та протитечійно-каскадної систем. Також необхідним заходом зменшення екологодеструктивного впливу галузі є очищення вод, використаних у процесі виробництва. Машинобудівні підприємства використовують до 10 % від загальної кількості води, що споживає промисловість. Найбільше її використовують заводи з виробництва вантажних автомобілів (240 м<sup>3</sup> на одиницю продукції). При цьому середньорічні скиди стічних вод досягають 180 м<sup>3</sup> на одиницю продукції. Серед інших галузей машинобудування ці показники такі: прецизійне верстатобудування – 90 і 55 м<sup>3</sup>; компресорне, холодильне й кисневе машинобудування – 66 і 59; важке верстатобудування – 59 і 45; підприємства з виробництва підшипників – 55 і 48; заводи з виробництва різальних інструментів – 45 і 26; ливарні заводи – 17 і 9 м<sup>3</sup>. Отже, головними резервами для зменшення шкідливого впливу в цій групі є вдосконалення наявних технологій, зменшення енергоємності та раціональне використання ресурсно-сировинної бази.

Друга група зумовлена експлуатацією автомобілів. Насамперед це виділення шкідливих вихлопних газів, витрата паливно-мастильних та експлуатаційних матеріалів, шумове забруднення. Аналіз заходів із зниження токсичності відпрацьованих газів автомобілів дозволяє виділити такі основні напрями [5]:

**1. Використання нових типів силового устаткування з мінімальним викидом шкідливих речовин.**

**2. Заміна конструкції, робочих процесів, технології виробництва автомобілів з метою зниження токсичності відпрацьованих газів.** Вдосконалення конструкції і робочих процесів бензинових двигунів спрямоване на підвищення стійкості займання і швидкості згоряння збіднених пально-повітряних сумішей, які забезпечують низьку токсичність відпрацьованих газів. Автомобіль стає екологічно набагато «чистішим» у разі застосування електронних систем управління, які оптимізують роботу двигунів, гальмівних систем тощо.

**3. Застосування пристроїв очищення або нейтралізації відпрацьованих газів.** Для автомобілів із бензиновими двигунами дуже ефективні каталітичні нейтралізатори потрібної дії. Для автомобілів із дизелями застосовують фільтри, які очищають відпрацьовані гази від сажі.

**4. Використання альтернативного або зміна характеристик традиційного пального.** До перспективного пального зі зниженим рівнем токсичності вихлопних газів відносять водень, етанол, метанол, стиснений природний і зріджений нафтовий газ, неетильовані високооктанові бензини. Зниження рівня впливу на водні ресурси автомобільного транспорту пов'язане з організацією оборотного водопостачання у процесах миття автомобілів. Враховуючи невисокі вимоги до складу води, що подається на мийку, доцільним є її очищення після використання механічними (проціджування, відстоювання) та фізико-хімічними (флотація, використання коагулянтів, адсорбентів тощо) методами. Зниження рівня накопичення твердих відходів від експлуатації автомобіля ґрунтується на застосуванні різних способів утилізації відпрацьованих шин. Особливо істотним є негативний вплив автотранспорту в середніх і великих містах, де концентрація цього виду транспортних засобів найбільша, що становить суттєву проблему для населення таких міст, насамперед для тієї його частини, що проживає в житлових будинках чи житлових масивах, розташованих поблизу великих транспортних артерій, перехресть, місць паркування, гаражів тощо. Перспективу поступового вирішення цієї проблеми повинно дати запровадження підвищених стандартів та вимог до екологічної безпеки автомобільного транспорту, стимулювання використання найменш шкідливих для довкілля видів палива, додержання вимог щодо заборони розташування місць скупчення автотранспорту в безпосередній близькості до зон проживання людей. Крім то-

го, рівень негативного впливу на довкілля значною мірою визначається правильною організацією руху автотранспорту. Зокрема, найбільший викид шкідливих речовин відбувається при гальмуванні, розгоні й додатковому маневруванні автомобілів. У зв'язку з цим створення дорожніх «розв'язок», правильна установка світлофорів, регулювання руху транспорту за принципом «зеленої хвилі» суттєво скорочує потрапляння в атмосферу забруднюючих речовин, а також сприяє збереженню транспорту. Засобами зменшення викидів від автотранспорту можуть стати технічні, технологічні та організаційні заходи впливу для покращення стану атмосферного повітря, а саме:

- здійснення постійного контролю за якістю нафтопродуктів, які реалізуються шляхом оптової та роздрібною торгівлі, поступове переведення автомобілів на альтернативні види пального;

- перехід пасажирського транспорту на екологічно найбільш «чистий» вид транспорту – електротранспорт;

- виведення потоків транзитного транспорту за межі населених пунктів, скорочення кількості автостоянок та паркувальних майданчиків у центрах міст, густозаселених житлових масивах та місцях масового відпочинку населення;

- оснащення автомобілів нейтралізаторами;

- впровадження практики європейських країн щодо введення податку на використання автомобілів із великим вмістом забруднюючих речовин у відпрацьованих газах одночасно з поступовим виведенням таких автомобілів із експлуатації. Водночас не менш важливим завданням є вирішення питання розширення доріг з якісно поліпшеним покриттям, збільшення кількості метанових заправок, активізація робіт із переведення автотранспорту на використання природного газу й біопалива тощо.

Третя група пов'язана з автомобільними шляхами. Автомобільна дорога, як інженерна споруда, прокладена на місцевості, спричиняє такі негативні впливи на навколишнє середовище.

*Вилучення місцевих природних ресурсів.* Відчуження земель під автомобільні дороги, АЗС, зупинки, сервісні та ремонтні підприємства. В Україні налічується близько 170 тис. км. Доріг загального користування та близько 150 тис. км. Доріг місцевого значення без врахування вулиць міст населених пунктів. На будівництво 1 км сучасної автомагістралі потрібно до 10-12 га площі. Крім цього, додаткові площі необхідні для технологічних цілей: складів зберігання будівельних матеріалів, місць стоянок, тимчасових споруд, розміщення знятого з дороги ґрунту. Великі площі займають також транспортні розв'язки до 1,5 га при перетині двосмугових доріг та до 35 га при перетині шестисмугових доріг.

Зняття родючого шару ґрунту, добування піску, кам'яних матеріалів.

*Зміна рельєфу місцевості.* Облаштування насипів та виїмок, утворення глибоких кар'єрів після видобування ґрунту, насипання відвалів ґрунту.

*Гідротехнічні роботи.* Осушування заболоченої місцевості та влаштування насипів на болотах, зміна стоку поверхневих вод та русел водотоків.

*Технологічні забруднення.* Використання будівельних матеріалів призводить до забруднення прилеглої території токсичними речовинами. Використання протижелезних сумішей пригнічує природну рослинність, забруднює водойми та водотоки.

*Порушення нормального функціонування екосистем.* При перетині штучних споруд змінюється середня швидкість вітрів. Дороги перешкоджають шляхам міграції тварин. Мостові переходи переформовують берегову лінію, змінюють поперечний переріз течії, внаслідок чого порушується гідравлічний режим потоку, з'являються розмиви, можуть бути знищені місця нересту риб та їх зимувальні ями.

*Автодороги є джерелом утворення пилу.* Під час руху стирається дорожнє покриття і автомобільні шини. До цього додається також бруд з ґрунту, нанесений на проїзну час-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тину, тому утворюється пил, який вітер може переносити на відстань до сотень кілометрів. Склад пилу та його кількість залежать від матеріалу дорожнього покриття. Гравієві дороги утворюють пил переважно з діоксиду кремнію, ґрунтові – на 90 % з кварцевих частинок, на дорогах з асфальтобетонним покриттям до складу пилу додатково входять продукти зношування, що містять бітум. Пил також створює передумови для виникнення дорожньо-транспортних пригод під час дощу, оскільки зменшується коефіцієнт зчеплення шин з опорною поверхнею. Пил осідає також на сільськогосподарські культури, висаджені поблизу дороги, тому вони накопичують шкідливі речовини.

Четверта група поєднує проблеми утилізації автомобілів, що відпрацювали свій термін, шин, акумуляторів, регенерації оливо та інших технологічних рідин. Нині автомобільна транспортна система України налічує більше 9,2 млн транспортних засобів, серед яких легкових автомобілів – 6,9 млн, вантажних – 1,3 млн, автобусів – 250 тис, мототранспорту – більше 840 тис. Їх середній вік становить близько 16 років. У 2018 р. ринок бувших у споживанні автомобілів утрічі перевищував продаж нових авто. Тільки в грудні 2018 р. українці імпортували рекордну кількість так званих «євроблях» – 22 тис., на що вплинуло дві причини – закінчення терміну дії пільгового закону про розмитнення, а також початок дії з 26 листопада 2018 р. нового закону, що легалізує в Україні «єробляхи». Понад 60 % завезених легкових автомобілів старші 8 років, а близько 27 % автомобілів старше 30 років.

У результаті тривалої експлуатації фізичні й хімічні процеси, що відбуваються в автомобілі, призводять до зносу його основних вузлів і механізмів, збільшення кількості шкідливих викидів в атмосферу, порушення регулювань, збільшення кількості неполадок та погіршення технічного стану. Щороку в Україні відбувається до 20 % ДТП через несправний технічний стан транспортних засобів через зниження коефіцієнта безпеки автомобіля  $K_{ба}$ , який для нового автомобіля становить 1,0, для п'ятирічного 0,7...0,8, а десятирічного – 0,4...0,5. Тому слід виводити з експлуатації автомобілі з тривалим терміном експлуатації.

Рада Європейського Союзу у 1997 році прийняла Директиву 97/С 337/02 «Транспортні засоби, що вийшли з експлуатації». У лютому 1999 року в цю Директиву були внесені поправки, за якими автомобілі починаючи з 01.01.2005 р. повинні утилізуватися як мінімум на 85 % по масі шляхом повторного використання окремих вузлів і деталей, рециркулювання матеріалів, або спалюванням відходів із використанням теплової енергії. З 01.01.2015 р. частка утилізації по масі повинна становити як мінімум 95 %.

Згідно з директиви всі витрати, пов'язані з утилізацією старих автомобілів, лягають на автовиробників. Ті, у свою чергу, закладають витрати на утилізацію у вартість нових авто.

У деяких країнах (Росія) встановлено на законодавчому рівні окремі тарифи за транспортування, зберігання та утилізацію автомобільного металобрухту.

У США утилізація зношених транспортних засобів є бізнесом з оборотом понад 8 млрд доларів.

В Україні Закон «Про утилізацію транспортних засобів» було прийнято Верховною Радою України в 2013 році. Цей Закон визначає правові, організаційні та економічні засади діяльності, пов'язаної з утилізацією транспортних засобів на території України з метою забезпечення екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища, життя та здоров'я громадян [6]. Для реалізації цього Закону ввели екологічний збір на імпортовані автомобілі. Залежно від об'єму двигуна податок становив від 4,7 до 30 тис. гривень. Але у 2014 році під впливом автомобілістів і представників бізнесу збір відмінили, а Закон так і не набув чинності. Фахівці вважають, що цей Закон має недоліки. У ньому не вказано, які машини підлягають утилізації. Ні вимог до віку транспортного засобу, ні до технічного стану не прописано, тому вийшло, що утилізація – справа добровільна і власники не поспішили здавати свої автомобілі на переробку. Мережа утилізаційних закладів так і не запрацювала. Цей Закон не стимулює здавати ав-

томобіль на утилізацію на відміну від країн Євросоюзу. Наприклад, у Франції передбачено великі штрафи, якщо власник не здає автомобіль в утилізацію після закінчення терміну експлуатації. У Норвегії при купівлі нового авто закладений утилізаційний збір, який повертається при здачі авто в утилізацію. Тому українці в кращому випадку розбирають автомобілі на деталі, частину з яких продають, а іншу здають у пункти приймання металолому, або взагалі кидають автомобілі ржавити на подвір'ї.

Для покращення ситуації з утилізацією автомобілів, спираючись на світовий досвід, необхідно внести зміни до Закону України «Про утилізацію транспортних засобів», де:

- передбачити великі штрафи для автовласників, якщо вони не здають автомобіль в утилізацію після завершення терміну експлуатації та за кинуті автомобілі;

- закласти в ціну нового та імпортованого авто утилізаційний збір;

- встановити податок на автомобілі залежно від віку автомобіля;

- посилити штрафні санкції за викиди понад норму шкідливих речовин в атмосферу;

- забезпечити стабільну державну фінансову підтримку заходів з утилізації.

**Висновки відповідно до статті.** Вплив автомобільного транспорту на екологічну ситуацію в нашій країні досяг критичної межі – показники забруднення атмосферного повітря і довкілля перевищують допустимі показники міжнародних норм і стандартів. Тому проблема зменшення негативного впливу на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу є актуальною. В роботі проаналізовано вплив різних чинників на забруднення автомобільним транспортом довкілля та запропоновані шляхи вирішення цієї проблеми.

#### Список використаних джерел

1. Русіло П. О., Костюк В. В., Афонін В. М. Вплив на довкілля автомобільного транспорту на всіх стадіях його життєвого циклу. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2008. Вип. 18.3. С. 85–89.

2. Трофімов І. Л. Зниження шкідливого впливу викидів моторного транспорту на стан атмосферного повітря. *Наукоємні технології*. 2014. № 3 (23). С. 364–369.

3. Васюкіна І. В. Аналіз впливу автотранспортних засобів на навколишнє середовище в селітебних зонах міст. *Екологічна безпека*. 2009. № 4 (8). С. 16–19.

4. Венжега В. І., Рудик А. В., Пасов Г. В. Особливості утилізації автомобілів відповідно до Закону України «Про утилізацію транспортних засобів». *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2016. № 3(5). С. 51–57.

5. Чернігівська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів. Доповідь про стан природного середовища в Чернігівській області за 2016 рік.

6. Про утилізацію транспортних засобів: Закон України від 4 липня 2013 р. № 421-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/421-18>.

#### References

1. Rusilo, P. O., Kostyuk, V. V., Afonin, V. M. (2008). Vplyv na dovkillia avtomobilnoho transportu na vsikh stadiyakh yoho zhyttievoho tsyклу [Impact on the environment of road transport at all stages of its life cycle]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, 18.3, 85–89 [in Ukrainian].

2. Trofimov, I. L. (2014). Znyzhennia shkidlyvoho vplyvu vykydiv motornoho transportu na stan atmosferного povitria [Reducing the harmful effects of motor vehicle emissions on the atmosphere]. *Naukoiemni tekhnologii – Technology-intensive*, 3 (23), 364–369 [in Ukrainian].

3. Vaskina, I. V. (2009). Analiz vplyvu avtotransportnykh zasobiv na navkolyshnie seredovysheche v selitebnykh zonakh mist [Analysis of the impact of vehicles on the environment in urban areas]. *Ekolohichna bezpeka – Environmental safety*, 4, 16–19 [in Ukrainian].

4. Venzheha, V. I., Rudyk, A. V., Pasov, G. V. (2016). Osoblyvosti utylizatsii avtomobiliv vidpovidno do Zakonu Ukrainy «Pro utylizatsiiu transportnykh zasobiv» [Features of recycling of cars in accordance with the Law of Ukraine «On Recycling of Vehicles»]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical Sciences and Technologies*, 3(5), 51–57 [in Ukrainian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Chernihivska oblasna derzhavna administratsiia. Departament ekolohii ta pryrodnykh resursiv (2016). *Dopovid pro stan pryrodnoho seredovyschcha v Chernihivskii oblasti za 2016 rik* [Report on the state of the natural environment in the Chernihiv region for 2016] [in Ukrainian].

6. Pro utylizatsiiu transportnykh zasobiv [On Recycling of Vehicles]. № 421-VII (on July 4, 2013).

UDC 629.113

*Volodymyr Venzhega, Hennadij Pasov*

**DECREASING OF THE MOTOR VEHICLE EFFECT ON THE ENVIRONMENT**

**Urgency of the research.** Road transport is a part of the developed transport system of Ukraine. However, along with the many benefits of road transport, it has a detrimental effect on the environment.

**Target setting.** One of the main requirements for road transport is to ensure the safe transportation of passengers and goods at minimal cost with the least environmental damage.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Many works of scientists are devoted to the influence of road transport on environmental pollution. The research results are reported in scientific journals, textbooks, and ecological textbooks, but in most cases they are fragmentary and do not cover the whole issue.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Consider road transport in the complex, as an industry associated with the production, maintenance and repair of cars, their operation, production of fuel and lubricants, with the development and operation of the road transport network, etc.

**The research objective.** Conduct an analysis of the factors and propose a system of measures to minimize the harmful effects of road transport on the environment throughout the life cycle of the vehicle.

**The statement of basic materials.** The transport complex is one of the most powerful sources of environmental pollution. Road transport is one of the main pollutants of atmospheric air, reservoirs and soil. There is degradation and loss of ecosystems under the influence of transport pollution, which is particularly intense in urban areas. The problem of recycling and processing of waste arising during the operation of vehicles, including after the end of their service life, is acute. In addition, transport is a major source of noise in cities and a source of heat pollution.

**Conclusions.** The complex approach to solving the problem of reducing the impact of road transport on the environment is implemented in the work by taking full account of all harmful factors related to the production, operation, maintenance, repair, disposal of cars, production and provision of fuel and lubricants and operational materials, operation and maintenance of the road transport network.

**Keywords:** road transport; harmful effect of road transport on the environment; environmental friendliness of the car; recycling of cars.

Fig.: 1. References: 6.

**Венжега Володимир Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8857-349X>

**ResearcherID:** H-3560-2014

**Пасов Геннадій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Pasov Hennadij** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7248-9085>

**ResearcherID:** H-4455-2014

UDC 621.646.978: 62-799

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-36-42

*Filip Filakovský, Ivan Virgala***ANALYSIS OF PIPE MECHANISM LOCOMOTION**

**Urgency of the research.** Inspection tasks are frequently and very important from the view of safety. From this reason the topic is very actual.

**Target setting.** The aim of the study is to investigate new kind of pipe mechanism based on differential frictions of bristles.

**Actual scientific researches and issues analysis.** There are many mechanisms for inspection of narrow or hard-to-reach areas. Many of them are based on wheels or tank belt. This research investigates bristle-based pipe mechanism.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Nowadays, the SMA materials or different kind of memory materials are always in the focus of researchers.

**The research objective** is to develop and experimental test the new kind of mechanism based on SMA as well as steel spring mechanism.

**The statement of basic materials.** The locomotion divided into two phases is introduced. Based on this locomotion the mathematical model was derived. Assuming mathematical model was developed control system for experimental pipe mechanism.

**Conclusions.** The results of the experiments shows problems with cooling phase due to its long time consumption. For cooling was used external device. The cooling phase significantly decrease average velocity of pipe mechanism. The advantage of this kind of mechanism is simple control and utilization for the pipe with small diameters.

**Keywords:** pipe mechanism; SMA; spring.

Fig.: 10. References: 11.

**Introduction.** There are many hard-to-reach areas which need to be inspected because of detection of escaping gas or monitoring of obstacle presence etc. From this reasons the researchers develop many years the mechanisms suitable for these tasks [1]. Within this research will be investigated pipe mechanism. There are several kind of mechanisms for these purposes like wheel-based or tank-belt based mechanisms. In the research we will discuss about bristle-based mechanism. Bristle-based mechanism works on the difference of friction in forward and backward motion [2; 3]. In other words, the friction coefficient in one direction is different in comparison of friction coefficient in another direction [4]. So, by suitable designing of mechanisms bristles it can be achieved this friction differentiation [5; 6].

In our case as actuator will be used SMA spring in cooperation with conventional steel spring. There are some similar solution in the works [10][11]. The paper is divided as follows.

The second chapter deals with mechanical design of our pipe robot. Next, mathematical model is introduced. It deals with pipe mechanism motion in the narrow space like pipe. Within the paper the mechanism is investigated by experiments. The conclusion shows the results of the analyses.

**Design of mechanical parts of pipe mechanism.** One of the most important issues within the pipe mechanism designing is design of actuator. There were investigated many mechanisms in the past based on DC motor actuators or actuators based on magnetism principles. This study investigated SMA (shape memory alloy) actuator [7; 8; 9].

So, entire actuator consists of SMA as well as steel spring actuator. SMA spring behaves based on the temperature of the spring. By heating of the SMA spring, it expands. When the SMA springs is cooled, it shortens. By these two cycles can be driven mechanism based on SMA spring. Steel spring plays the role of the helper of shortening of the SMA spring.

As can be seen in the Fig. 1, the red colour represents SMA spring in heating phase and blue colour SMA spring in cooling phase. The black one represents steel spring.

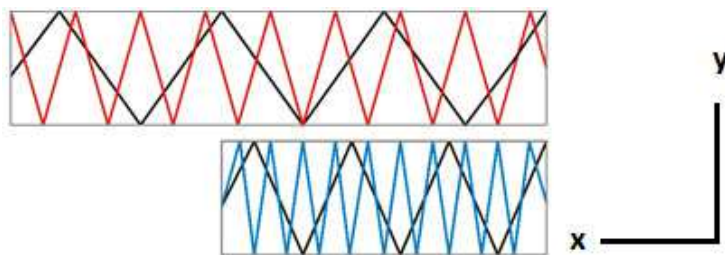


Fig. 1. Phases of SMA spring (red – heating, blue – cooling)

Based on concrete type of used SMA spring, during cooling phase it shortens to 16 mm. On the other hand, during the heating phase, it extends to 30 mm.

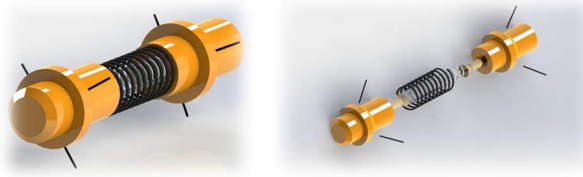


Fig. 2. CAD model of in-pipe robot

In the Fig. 2 the CAD model is shown.

Design of our pipe mechanism arise from the inspiration from the nature by inchworm. In the Fig. 3 is introduced the locomotion of the mechanism.

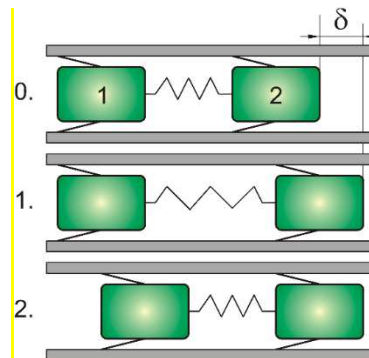


Fig. 3. Locomotion of the pipe mechanism

From fig. 3, zero phase is initial position of pipe mechanism. During the first phase, the first module moves forward by maximum extension. The first phase is heating phase. While the first module moves forward, the friction coefficient of this module in forward direction is smaller than friction coefficient of second module in backward motion. During the second phase, so called cooling phase, the second module moves forward while the first module is static because of friction differentiation.

$$F_S + F_{fs} - F_{SMA} = 0 \tag{1}$$

where  $F_S$  is force of steel spring,  $F_{fs}$  is static friction and  $F_{SMA}$  is SMA spring force, respectively. Static friction force can be set as

$$F_{fs} = \mu_s F_N \eta \tag{2}$$

where  $\mu_s$  and  $F_N$  are static friction coefficient and load force, respectively. Variable  $\eta$  represents following function

$$\eta = \begin{cases} 0 \forall v \neq 0 \\ 1 \forall v = 0 \end{cases} \tag{3}$$

The second module motion is expressed as follows

$$F_{SMA} - F_S - F_f > 0 \tag{4}$$

where  $F_{SMA}$  is SMA spring force,  $F_S$  is steel spring force and  $F_f$  is friction force. Considering Coulomb friction model between mechanism modules and pipe, friction force is

$$F_f = \mu_c F_N \text{sgn}(v) \tag{5}$$

where  $\mu_c$  and  $F_N$  are Coulomb friction coefficient and load force, respectively.  $\text{sgn}(v)$  is signum function, described by equation (6).

$$\text{sgn}(v) = \begin{cases} 1 \forall v > 0 \\ 0 \forall v = 0 \\ -1 \forall v < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Coulomb friction force depends on the direction of module velocity. From the equations (1) and the equation (4) we can derive

$$\mu_s = \frac{F_{SMA} - F_s}{wg\eta} \quad (7)$$

$$\mu_c < \frac{F_{SMA} - F_s}{wg \text{sgn}(v)} \quad (8)$$

where  $w$  is weight of pipe mechanism module. The required difference between forward and backward friction coefficients can be set by suitable design of pipe mechanism bristles.

SMA spring is cooled by external device during its second phase. In this phase, it loses its force and steel spring helps to shorten the distance between two modules.

The second phase could be described as

$$\mu_c < \frac{F_s}{wg \text{sgn}(v)} \quad (9)$$

$$\mu_s = \frac{F_s}{wg\eta} \quad (10)$$

The first phase duration is

$$t_1 = \sqrt{\frac{2\delta w}{F_{SMA} - F_s - \mu_c wg \text{sgn}(v)}} \quad (11)$$

The second phase duration is

$$t_2 = \sqrt{\frac{2\delta w}{F_s - \mu_c wg \text{sgn}(v)}} \quad (12)$$

From both equations (11) and (12) can be set average velocity of pipe mechanism

$$v_A = \frac{\delta}{t_1 + t_2} \quad (13)$$

Theoretical average velocity of the pipe mechanism in the Fig. 4 is shown.

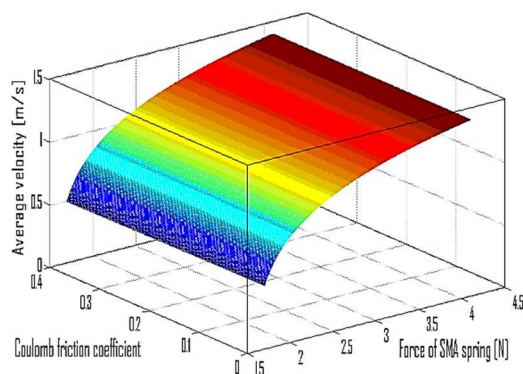


Fig. 4. Pipe mechanism average velocity

**Experimental on SMA spring.** As have been mentioned, SMA material changes its properties by heating or cooling it. The heating of SMA can be achieved by supplying it by electrical current. By connecting SMA to supply voltage different potentials, the current would flow through it.

For experimental testing was SMA spring connected to supply voltage from 0.2 V up to 2 V. The results in the Fig. 5 are shown.

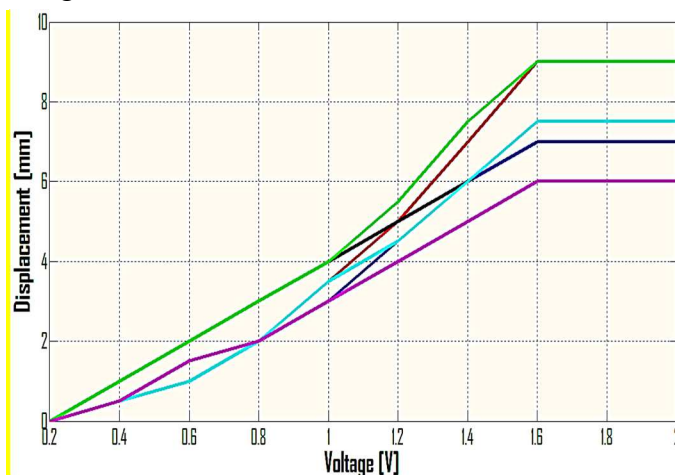


Fig. 5. SMA spring extensions based on different voltage level

From the Fig. 5 it is clear, the higher supply voltage is the more extension of SMA spring occurs. The load force for measurements were gained by different steel springs.

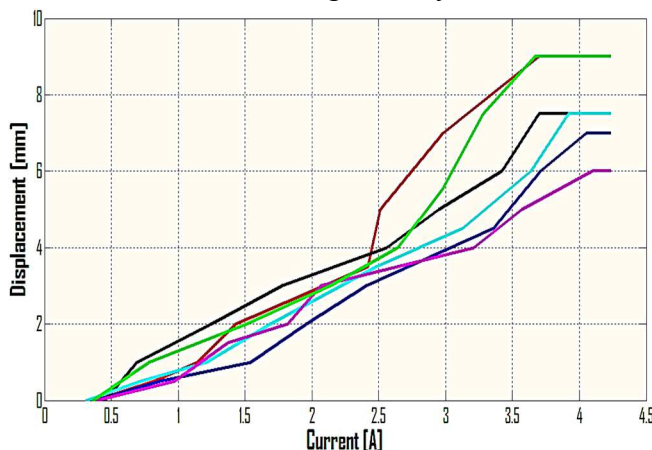


Fig. 6. SMA spring and electrical current

The current flowing through the SMA is too high. For the voltage 2 V it is roughly 4 A. As have been mentioned, friction force is very important for this kind of mechanism. Design of the bristles is important task. Friction coefficient in the forward as well as backward direction can be determined by tribometer.

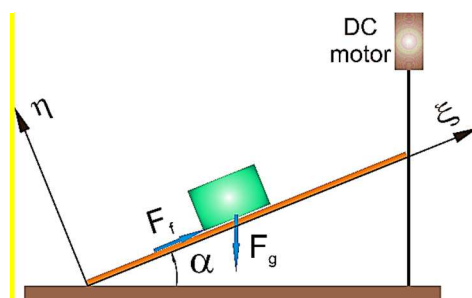


Fig. 7. Friction coefficient measuring stand

By any kind of motor with screw the angle of inclined surface can be changed, (see Fig. 7).

$$F_f - wg \sin \alpha = 0 \quad (14)$$

$$F_N - wg \cos \alpha = 0 \quad (15)$$

The static friction coefficient can be set by following term

$$\mu_s = \operatorname{tg} \alpha \quad (16)$$

From measuring of friction there were found following values

$$\mu_{\text{Forward}} = 0.449 \quad (17)$$

$$\mu_{\text{Backward}} = 0.589 \quad (18)$$

As can be seen, the friction coefficient in forward direction is lower than friction if backward direction. By this difference the forward motion is achieved.

**Experimental analysis with pipe mechanism.** According to CAD model mentioned above was designed pipe mechanism for experimental purposes. The mechanism is designed for 13 mm diameter of the pipe, see Fig. 8.



Fig. 8. Experimental pipe mechanism

During the experiments the electrical current consumption was measured. The measurements were done by input/output measuring cad MF624 connected with MATLAB / Simulink, see Fig. 9.

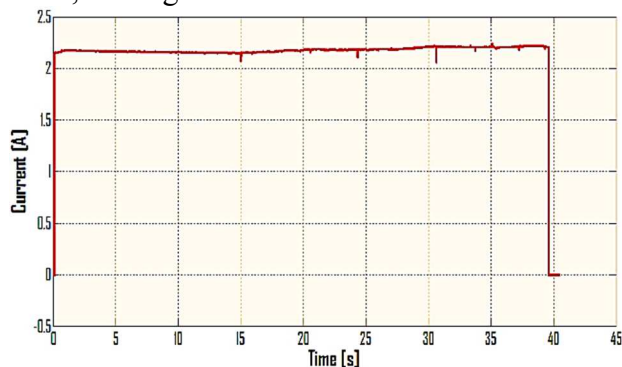


Fig. 9. Electric current consumption during the first phase of locomotion

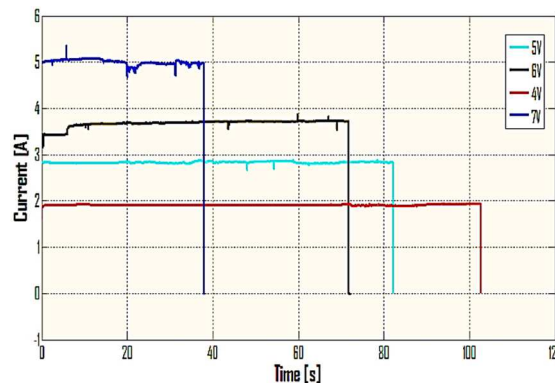


Fig. 10. First phase of locomotion for several supply voltage levels

It can be seen, the first phase of locomotion characterized by SMA spring heating, last roughly 40 seconds.

The Fig. 10 shows, that the higher current flowing through the SMA spring is, the lower time it takes. The second phase, cooling phase, was takes a long time. From this reason was used blower for faster cooling phase.

The significant disadvantage of this kind of mechanism is SMA spring heating but especially cooling phase which takes a lot of time what causes very slow locomotion, in our case only 2 mm/min.

**Conclusion.** The paper dealt with motion analysis of pipe mechanism in the pipe with di-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

iameter 13 mm. At first mathematical model of locomotion was designed. From mathematical model of both phases the average velocity of mechanism was derived. Then SMA spring was experimentally tested in cooperation with steel spring. In the conclusion, there was designed pip mechanism according to CAD model mentioned in the beginning of the paper. The experiments were done with this experimental pipe mechanism. The results show problems especially with cooling phase which takes a lot of time. From this reason is this kind of mechanism very slow. The advantage of the mechanism is very simple control system, small weight and possibility to use the robot in very small diameters of pipe.

**Acknowledgement.** The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project VEGA 1/0872/16.

### References

1. Gmitterko, A., Dovica, M., Kelemen, M., Fedák, V., Mlýnková, Z. (2002). “In-pipe Bristled Micromachine”, IEEE 7th International Workshop on Advanced motion control, pp. 599–603 [in English].
2. Kelemenová, T., Kelemen, M., Miková, L. & Baláž, R. (2012). “Bristled In-pipe Machine Inside Pipe With Geometric Deviations”, Procedia Engineering – Elsevier / International Conference on Modeling Mechanic and Mechatronic systems, pp. 287–294 [in English].
3. Tatar, O., Mandru, D., Ardelean, I. (2007). “Development of mobile nirobots for in pipe inspection tasks”, Mechanika, 60-64, 6 (68), ISSN 1392- 1207 [in English].
4. Wang, Z., “A Bristled-Based Pipeline Robot for I11-Constraint Pipes”, IEEE / ASME Transaction on Mechatronics, Vol. 13, No. 3, June 2008 [in English].
5. Yu, H., Ma, P., Cao, Ch., “A Novel In-Pipe Worming Robot Based on SMA”, Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics & Automation, pp. 923–927, Niagara Falls, Canada, 2005 [in English].
6. Choi, H. R., Roh, S., “In-pipe Robot with Active Steering Capability for Moving Inside of Pipelines”, Bioinspiration and Robotics: Walking and Climbing Robots, ISBN 978-3-902613-15-8, pp. 375–402, Austria 2007 [in English].
7. Li, P., Ma, S., “Self-Rescue Mechanism for Screw Drive In-pipe Robots”, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2843 – 2849, Taiwan 2010 [in English].
8. Yaguchi, H., Izumikawa, T., “Performance of Cableless Magnetic In-Piping Actuator Capable of High-Speed Movement by Means of Inertial Force”, Advances in Mechanical Engineering, pp. 1–9, 2001 [in English].
9. Yaguchi, H., Kamata, K., “In-piping Magnetic Actuator Capable of Inspection in a Thin Complex Pipe”, Mechanical Engineering Research, Vol. 2, No. 2, 2012 [in English].
10. Kim, S., Hawkes, E., Cho, K., Jolda, M., Foley, J., Wood, R., “Micro artificial muscle fiber using NiTi spring for soft robotics”, IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 2228–2234, USA, 2009 [in English].
11. Koh, J., Cho, K., “Omega-Shaped Inchworm-Inspired Crawling Robot with Large-Index-and-Pitch (LIP) SMA Spring Actuators”, IEEE Transactions on Mechatronics, vol. 18, no. 2, 2013 [in English].

УДК 621.646.978: 62-799

*Філіп Філаковський, Іван Віргала*

### АНАЛІЗ ПЕРЕМІЩЕННЯ ТРУБОПРОВІДНОГО МЕХАНІЗМУ

**Актуальність теми дослідження.** Інспекційні завдання часті і дуже важливі з точки зору безпеки. З цієї причини тема дуже актуальна.

**Постановка проблеми.** Метою роботи є дослідження нового типу трубного механізму на основі диференціального тертя щетинок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існує багато механізмів огляду вузьких або важкодоступних місць. Більшість з них мають колісну або гусеничну базу. В цій роботі досліджується трубопровідний механізм з поверхнею у вигляді щетинок.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У наш час SMA матеріали або різного роду запам'ятовуючі матеріали завжди знаходяться у центрі уваги дослідників

**Постановка завдання** полягає в розробці та експериментальному випробуванні нового типу механізму на основі SMA, а також сталевого пружинного механізму.

**Виклад основного матеріалу.** *Переміщення механізму розділене на дві фази. На основі цього переміщення було виведено математичну модель. Використовуючи математичну модель, була розроблена система управління експериментальним трубним механізмом.*

**Висновки відповідно до статті.** *Результати експериментів показують проблеми з фазою охолодження через тривалу експлуатацію. Для охолодження використовувався зовнішній пристрій. Фаза охолодження значно знижує середню швидкість трубного механізму. Перевага цього механізму полягає в простому керуванні та використанні для труби невеликих діаметрів.*

**Ключові слова:** *трубний механізм; SMA; пружина.*

*Рис.: 10. Бібл.: 11.*

**Filip Filakovsky** – PhD student, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation, Mechatronics and Robotics, Department of Mechatronics (Park Komenskeho 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**Філіп Філаковський** – аспірант, Технічний університет Кошице (Park Komenskeho 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** filip.filakovsky@tuke.sk

**Ivan Virgala** – Associate Professor, Ph.D. of Technical Sciences, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation, Mechatronics and Robotics, Department of Mechatronics (Park Komenskeho 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**Іван Виргала** – доцент, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Park Komenskeho 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** ivan.virgala@tuke.sk

Martin Varga

## SIMPLIFICATION AND VERIFICATION OF DYNAMIC EQUATIONS OF MOVEMENT OF AN AUTONOMOUS UNDERWATER VEHICLE

**Urgency of the research.** Currently, most machines go through computer modelling and simulation phase in their development cycle. The ability to formulate simple yet effective models helps to both decrease development cost and time.

**Target setting.** Today many tasks are being accomplished by robots whether mobile robots or industrial robots. To simulate the behaviour of these robots a dynamic model is needed. These models can be very complex and the parameters to fill all the equations can be difficult to find, therefore simplifications need to be implemented and verified so that the models are still accurate.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A basic step in the development of new products is the simulation and modeling phase. Development of a computer model prior to development of a physical prototype saves time and resources. Unfortunately, some models can be very complex and require parameters only acquirable from tests on physical systems. That is why often these models need to be heavily simplified which can lead to imprecise results. Often, verification of the model is needed. One of such systems is the dynamic model of an Autonomous underwater vehicle (AUV).

**Uninvestigated parts of general matters defining.** This article focuses on verification of a highly simplified dynamic simulation model of AUV.

**The research objective.** The aim of these research was to model a simplified dynamic model of an AUV moving through fluid with nonnegligible viscous properties and verify the model by comparing simulation results with experimental results obtained by testing on the real AUV.

**The statement of basic materials.** The analysis consists of an attempt to summarise the possible ways to simplify a general dynamic equation for movement of an AUV in a fluid with nonnegligible viscous properties and showing, that even such simplified model stays usable and bring with it reduction in complexity.

**Conclusions.** This article shows the basic dynamic equations for describing the movement of a general AUV in a fluid with nonnegligible viscous properties and the possible simplification of this equation in regard to a specific construction of a real world AUV. The results gathered from the simulation model are then compared to experimental results performed on the physical AUV with the conclusion, that both datasets are matching within reasonable margins. This article serves as a good reminder of the importance and benefits of well establishing simplifications in a model of a real-life system.

**Keywords:** AUV; dynamics; simulation.

Fig.: 7. References: 7.

**Introduction.** The development of complex machines is an expensive and time-consuming process. The development of well build, reliable, but simple models whether it be 3d, simulation or mathematical models can be a major factor in successful development of a machine.

This aspect of development can be very well seen in the process of design and development of an Autonomous underwater vehicle, AUV for short. AUVs are robots able to operate underwater without the aid of an operator. These vehicles are widely used in situations where the use of remote operated underwater vehicles is not practical. Examples of these tasks are autonomous mine sweepers, underwater wreckage or cave inspection, long term seafloor surveys etc. As can be seen, the task and mission times an AUV can be built for varies, and so varies their design. Also, movement underwater is a very specific task, for which an AUV needs to be well designed as a failure underwater could mean the destruction of the vehicle. It is often necessary to develop a reliable model of such a vehicle to understand its behaviour underwater and for the task of developing a control system for it.

**Dynamic model of an AUV.** In the next chapter, the description of dynamics of an AUV will be presented. Unlike for objects moving with low speed in air, for which often kinematic description is sufficient, for the correct description of movement of an underwater vehicle it is crucial to define the dynamic equations describing its behaviour in a fluid environment. This applies even for low speed movement. The dynamic model of an AUV shown bellow is according to Fossen [2].

$$M \cdot \dot{v} + C_{(\dot{v})} \cdot v + D_{(v)} + G = \tau_E + \tau \quad (1)$$

$M$  – matrix of inertial forces

$C_{(\dot{v})}$  – matrix of Coriolis and centripetal forces

$D_{(v)}$  – matrix of hydrodynamic dampening

$G$  – Vector of gravitational and buoyancy forces

$\tau_E$  – matrix of external forces and momentums

$\tau$  – matrix of motor forces

$v$  – state velocity vector

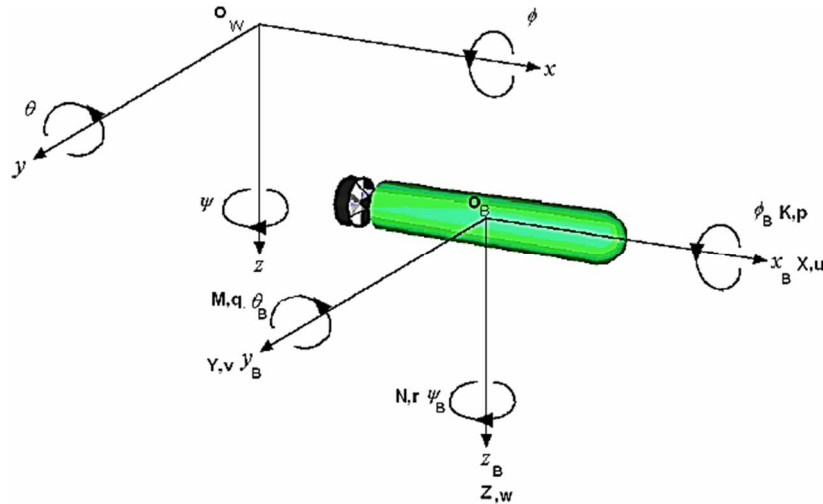


Fig. 1. Coordinate systems of an AUV

It needs to be noted, that all the above-mentioned vectors and matrices are defined in respect to a coordinate system that is rigidly attached to the AUV B with the x axis pointing in the direction of the forward movement of the AUV.

The matrix M consists of the matrix of own internal inertia  $M_{RB}$  and the matrix of added (virtual) mass  $M_A$ . The matrix  $M_A$  is derived from the kinetic energy equation of the flowing fluid that was given to it by the movement of the AUV. The elements of the matrix  $M_A$  are for a fully submerged vehicle constant and will always have a positive value.

$$M = M_{RB} + M_A \tag{2}$$

The matrix of Coriolis and centripetal forces is in relation to the matrix of inertia M and therefore also has two elements,  $C_{RB}(\dot{v})$  the matrix of Coriolis and centripetal forces due to  $M_{RB}$  and  $C_A(\dot{v})$  the matrix of Coriolis and centripetal forces due to  $M_A$ .

$$C(\dot{v}) = C_{RB}(\dot{v}) + C_A(\dot{v}) \tag{3}$$

The matrix  $D_{(v)}$  consists of multiple elements describing multiple types of dampening.

$$D_{(v)} = D_{P(v)} + D_{S(v)} + D_{W(v)} + D_{M(v)} \tag{4}$$

$D_{P(v)}$  – potential dampening due to forced oscillation of fluid;

$D_{S(v)}$  – linear and quadratic friction on the boundary layers of the fluid and vehicle;

$D_{W(v)}$  – wave dampening;

$D_{M(v)}$  – dampening due to vortex shedding.

G describes the effect of the buoyancy force and gravitational force upon the AUV in the coordinate system fixed to the AUV, not in the world coordinate system.

Similar to G, the matrix of external forces and momentums describes the effects of external force acting upon the AUV relative to the coordinate system fixed the AUV. These forces represent the effects of underwater currents interacting with the AUV.

Finally, the matrix of motor forces  $\tau$  represents the forces of the motors the AUV is equipped with. The composition depends on the construction of the AUV.

$$\tau = L \cdot U \tag{5}$$

U – vector of all values of motor forces

L – 6xn matrix describing the force effects of matrix U in coordinate system B

All of the abovementioned matrices are 6x6, representing coupled 6 degrees of freedom for describing general motion of an object in a fluid with nonnegligible viscous properties.

**Simplification of the dynamics in respect to a specific design of an AUV.** As can be seen, the description of the dynamics of general motion of an object in fluid is complex. They require many parameters that, even though, can be calculated under difficulty, are usually found using tests on real life models. In general, it is not necessary to acquire all the parameters required to describe the full 6 DOFs of an AUV. Depending on the specific design of an AUV, simplifications can be made, under certain assumptions, that decrease the number of parameters that need to be acquired and significantly simplify the final dynamic equations.

One common type of AUV is one of frame construction, equipped with two parallel vertical thrusters to control dive and two forward facing thrusters to provide forward and backward movement as also the ability to differentially steer. One of such AUVs is the MAKO (Fig. 2), an AUV build by Andrev Gonzales and team at UWA (The University of Western Australia) for the purpose of participating in the International Autonomous Underwater Vehicle Competition. For this vehicle, all the necessary tests to specify the needed dynamic constants were done and are known. The complete description of this AUV and the methodology of finding the needed constants can be found in [1].



*Fig. 2. AUV MAKO*

In the following paragraphs, simplification of the dynamic equations for this vehicle will be demonstrated.

For this AUV the following assumptions can be made:

1. AUV moves at slow speed ( $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
2. The vehicle is symmetrical along all three planes of symmetry.
3. Rotation along the x and y axis is not being taken into consideration.
4. All degrees of freedom are independent of each other.

The assumption of slow speed in this list is crucial. As can be found in [6], AUVs have an operational speed between  $0.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  and  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , with most having operational cruising speed of about  $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . All the physical tests and modelling done in [1] were done with the assumption of a top speed of  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , which is close enough to the values stated in [6] to be valid. Thanks to the assumption of low speed, the effects of small asymmetries in the planes of symmetry of the AUV can be neglected. The Coriolis and centripetal forces can be ignored due to assumption of low speed. The matrix of dampening, thanks to the assumption of symmetry and low speed, is reduced only to the matrix of linear and quadratic friction on the boundary layers of the fluid and vehicle. These assumptions effectively decouple all the dynamic equations.

Engineers most often choose to place the centre of buoyancy above the centre of gravity creating passive control of rotation along the x and y axis (Fig. 3). This assumption eliminates two Dofs leaving only four: movement along x, y, z and rotation around z.

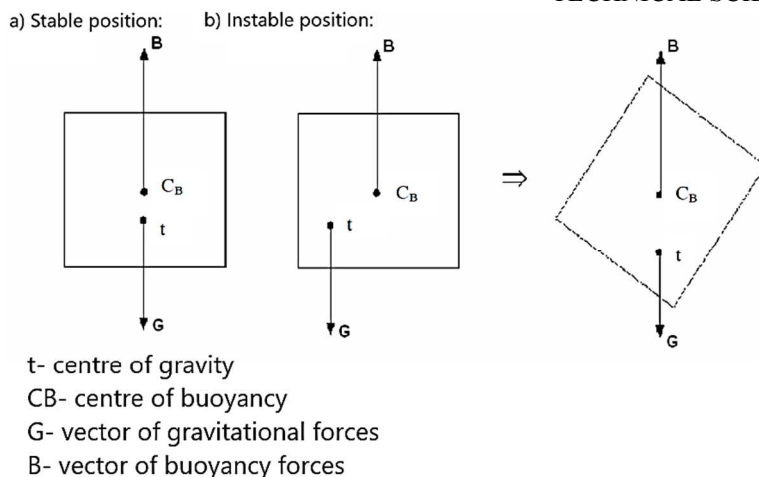


Fig. 3. Principle of passive stabilization

After these simplifications are applied, there will be four independent dynamic equations consisting of parameters for every degree of freedom in the general form of:

$$m_{\vartheta i} \dot{\vartheta}_i + d_{\vartheta i} \vartheta_i + d_{\vartheta|\vartheta|i} \vartheta_i |\vartheta_i| + g_{\vartheta i} = \tau_{\vartheta i} \tag{6}$$

- $m_{\vartheta i}$  – parameter of internal inertial matrix for DOF i;
- $d_{\vartheta i}$  – parameter of linear dampening for DOF i;
- $d_{\vartheta|\vartheta|i}$  – parameter of quadratic dampening for DOF i;
- $g_{\vartheta i}$  – force effects of gravitational and buoyancy on DOF i;
- $\tau_{\vartheta i}$  – internal motor force effect for DOF i;
- $\vartheta_i$  – velocity for DOF i.

**Simulation of simplified model of AUV and comparison to experimental results.**

The above-shown simplified dynamic model ignores many components of the original dynamic model, therefore it is fitting to compare the results given by this model with experimental results, hence validating it.

The necessary parameters for the equations and the experimental results were taken from [1], for the AUV MAKO. The dynamic model was made in the program matlab-simulink (Fig. 4).

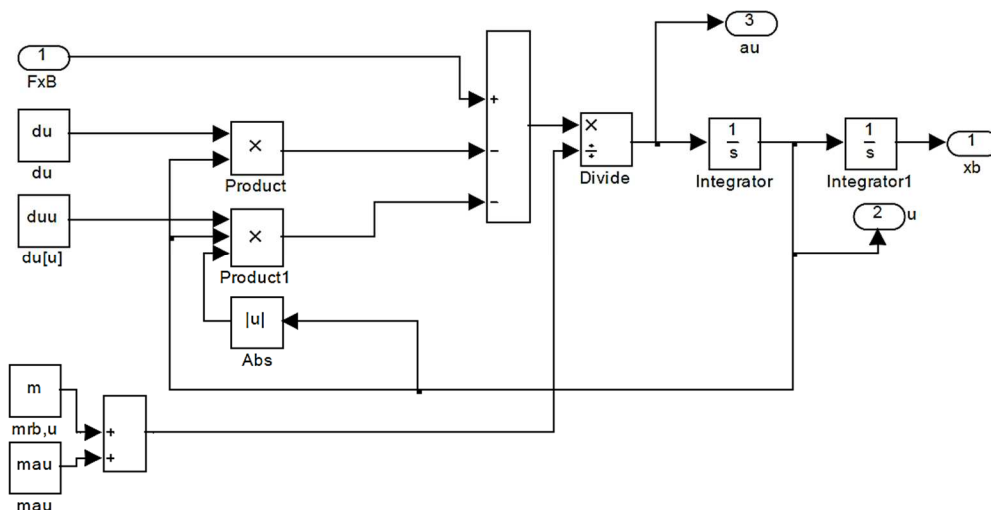


Fig. 4. Dynamic equation for the movement in direction of axis x

Below is the comparison between simulation and experiment for movement in direction of x, z and rotation around z is presented. Simulation results come close the experimental results. Some mismatch is the result of measuring errors and limited effects of equation simplification.

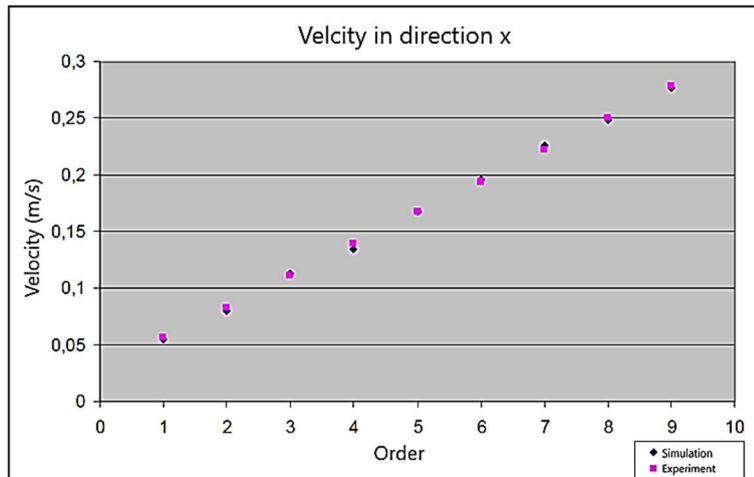


Fig. 5. Comparison between simulation and experiment for movement in direction of  $x$

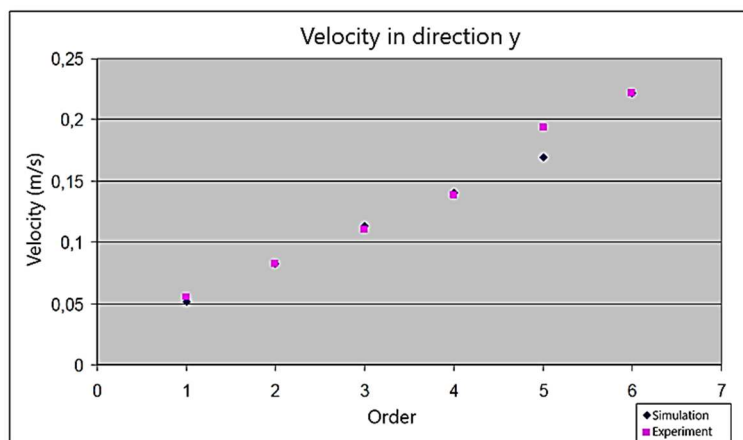


Fig. 6. Comparison between simulation and experiment for movement in direction of  $y$

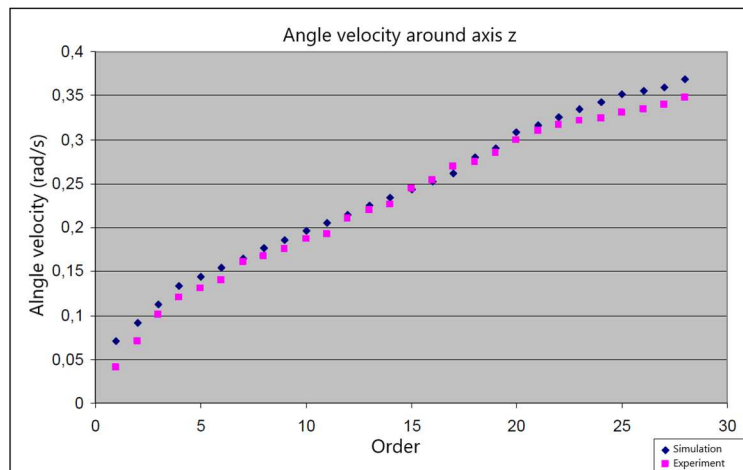


Fig. 7. Comparison between simulation and experiment for rotation around  $z$  axis

**Conclusions.** This article shows the basic dynamic equations for describing the movement of a general AUV in a fluid with nonnegligible viscous properties and the possible simplification of this equation in regard to a specific construction of a real world AUV. As can be seen, even highly simplified models can be reliable and therefore save development time and resources. This is shown on the presented example where the simulation results are compared to experimental results performed on the physical AUV where both datasets are matching within reasonable margins. As this article shows, it is of high importance and benefit to establish sound simplifications in a model of a real-life system.

**Acknowledgements.** This research was funded by project VEGA 1/0872/16 and project KEGA 018TUKE-4/2018.

### References

1. Gonzales, L. A. (2004). Design and modeling of an autonomous underwater vehicle. *Bachelor of Engineering Honours Thesis*. The University of Western Australia, Centre for Intelligent Information Processing Systems/ <http://robotics.ee.uwa.edu.au/theses/2004-AUV-Gonzalez.pdf>.
2. Thor I. Fossen (1995). *Guidance and Control of Ocean Vehicles*. John Wiley and Sons United States of America, ISBN 0-471-94113-1.
3. Grepl, R. (2007). *Kinematika a dynamika mechatronických systémů*. Akademické nakladatelství cerm. ISBN 978-80-214-3530-8.
4. P. Ridaou, J. Ratlle, M. Carreras (2001). Model identification of a low-speed UUV. *IFAC Proceedings Volumes (July 2001)*, 34 (7), 395-400. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)35114-5](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)35114-5).
5. Vervoort, J. H. A. M. (2008). *Modeling and Control of an Unmanned Underwater Vehicle*. University of Technology Eindhoven Department of Mechanical Engineering Department of Mechanical Engineering Christchurch, New Zealand Eindhoven, The Netherlands. <http://www.mate.tue.nl/mate/pdfs/10894.pdf>.
6. Bellingham, J. (2001). *Autonomous underwater vehicles (AUVs)*, MIT Sea Grant, Cambridge, MA, USA, Academic Press. DOI: 10.1006/rwos.2001.0303.
7. Hoods Hole Oceanographic Institution, Ships & Technology. [online], [cit. 2011-10-20], Retrieved from: <http://www.whoi.edu/page.do?pid=10078>.

УДК 629.58

Мартін Варга

## СПРОЩЕННЯ І ПЕРЕВІРКА ДИНАМІЧНИХ РІВНЯНЬ РУХУ АВТОНОМНОГО ПІДВОДНОГО АВТОМОБІЛЯ

**Актуальність теми дослідження.** В даний час більшість машин проходить етап комп'ютерного моделювання і симуляції в своєму циклі розробки. Можливість формулювати прості, але ефективні моделі допомагає знизити витрати і час на розробку.

**Постановка проблеми.** Сьогодні багато завдань виконуються роботами, будь то мобільні роботи або промислові роботи. Для імітації поведінки цих роботів необхідна динамічна модель. Ці моделі можуть бути дуже складними, а складові параметри для всіх рівнянь важко знайти, тому потрібно впровадити спрощення та перевірити, щоб моделі були все-таки точними.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основним кроком у розробці нових виробів є створення моделі та етап моделювання. Розробка комп'ютерної моделі попереду розробки фізичного прототипу економить час та ресурси. На жаль, деякі моделі можуть бути дуже складними і вимагають параметрів, які можна отримати лише з випробувань на фізичних системах. Ось чому часто ці моделі потребують значного спрощення, що може призвести до неточних результатів. Часто потрібна перевірка моделі. Однією з таких систем є динамічна модель автономного підводного автомобіля (АПА).

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Ця стаття присвячена верифікації сильно спрощеної моделі динамічного моделювання АПА.

**Постановка завдання.** Метою цих досліджень було змоделювати спрощену динамічну модель АПА, що рухається через рідину з несуттєвими в'язкими властивостями, і перевірити модель шляхом порівняння результатів моделювання з експериментальними результатами, отриманими при тестуванні на реальному АПА.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз складається зі спроби узагальнити можливі способи спрощення загального динамічного рівняння для руху АПА у рідині з несуттєвими в'язкими властивостями та показати, що навіть така спрощена модель залишається придатною для використання та приводить до зменшення її складності.

**Висновки відповідно до статті.** У цій статті показані основні динамічні рівняння для опису руху загальної АПА у рідині з неглибокими в'язкими властивостями та можливе спрощення цього рівняння, щодо конкретної конструкції реального АПА. Результати, отримані з імітаційної моделі, потім порівнюються з експериментальними результатами, виконаними на реальному АПА, з висновком, що обидва набори даних збігаються в допустимих межах. Ця стаття служить гарним нагадуванням про важливість та переваги вірно встановлених спрощень для подальшого розрахунку реальних моделей.

**Ключові слова:** автономний підводний вітомобіль (АПА); динаміка; моделювання.

Рис.: 7. Бібл.: 7.

**Martin Varga** – PhD student, Technical University of Košice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automation, Mechatronics and Robotics, Department of Mechatronics (Park Komenského 8, 042 00 Košice).

**Мартин Варга** – аспірант, Технічний університет Кошице, Факультет механічної інженерії, Інститут автоматизації, мехатроніки та робототехніки, кафедра мехатроніки (Park Komenskeho 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** martin.varga.2@tuke.sk



Jan Semjon, Martin Kocan

## PROPOSAL OF ROBOTIZED CELL WITH ROBOT KUKA KR 6 FOR EDUCATIONAL PURPOSES

**Urgency of the research.** The issue of using robotic workplaces for training students of technical fields is highly topical. It makes it possible to increase the labour market participation of students not only for the needs of the present, but also for the future. The design and implementation of an educational robotized workplace make it possible to prepare students according to their needs and current knowledge.

**Target setting.** The aim of the solution is to design an educational workplace for handling, equipped with a Kuka KR6 robot and pneumatic effector. The three-finger effector from SMC allows you to hold and carry objects with a maximum clamping force of 130 N. At the same time, the workplace allows you to place handling objects in a total of 32 positions.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The deployment of angular industrial robots has also penetrated into other areas of industry where their use was only sporadic. This creates the need for additional personnel able to program the robot and set the technology for a specific issue of the robotized workplace.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Improvement of students' knowledge or retraining of employees creates preconditions for their better application in technical practice. The ability to realize customized programs on industrial robots currently deployed in industry prepares students to perform their work without the need for further training, saving costs and time for employers.

**The research objective.** The aim of the research was to design an educational robotized workplace in order to prepare students according to the specific needs of employers. The workplace allows the use of other pneumatic grippers, while it is possible to connect a total of 16 inputs and outputs for the use of other peripheral devices. The robot can also be used to create a program in an ROS environment, which in turn creates the need to use a Kinect device to detect not oriented components.

**The statement of basic materials.** The use of the robot, whose control system KR C4 is one of the most modern, allows students to prepare for the needs of practice in the nearest future. After completing the training, the student is able to program on-line Kuka robots for industrial use.

**Conclusions.** The article focuses on the design and creation of a training robotized workplace for creating programs using a pneumatic gripper. The design and use of the chessboard makes it possible to create a large number of possible combinations for training purposes. This creates a good precondition for adapting training to the specific needs of trained groups. The use of horizontal and inclined plane will teach students how to use the co-ordinate system of the tool or external base when programming. For this reason, programming the movement of the robot along the correct trajectory is more complex and improves the spatial perception of the students in the robot workspace.

**Keywords:** industrial robot; Kuka; chessboard; manipulation.

Fig.: 6. Table: 1. References: 9.

**Problem definition.** The deployment of industrial robots in various industries has an increasing trend related to the need for human replacement in the production process. The increasing cost of human wages, as well as the lack of a skilled workforce, force manufacturing plants to robotized work tasks. Especially those operations that do not require human creativity. The deployment of a qualified worker moves to the position of supervisor of a possible programmer, who keeps the operation within the required limits. This creates the need to find enough workers in the labour market to be able to revive, operate and carry out the necessary maintenance of industrial robots. Colleges and universities must therefore prepare students so that they are able to accomplish these tasks when they enter the labour market [1, 2].

Continuous development in the field of technology improvement (welding, spraying, joining materials, etc.), used as end effectors on industrial robots complicates the preparation of students for a specific application. Therefore, it is important that students have a broader view in this area and understand the processes that lead to successful programming not only of the robot trajectory, but also of the setting of the end effector parameters. The ability to create programs for industrial robots from various manufacturers creates good conditions for the student's position in the labour market not only in Slovakia but also in other developed countries [3, 4].

The KR 6 R900 sixx is a compact six-axis robot designed for the highest working speeds. Different designs, mounting positions, reaches and loads make this little robot a good teaching aid. The robot is characterized by its versatility, which allows the use of in new areas of application. Regardless of whether it is on the floor, ceiling or wall - thanks to the integrated power supply and proven control, the KR C4 compact delivers the highest precision in the

smallest space. The new automation concepts enable the Safe-Robot function and are available in cleanroom, explosion-proof, hygienic design or splash-proof versions [5, 6].

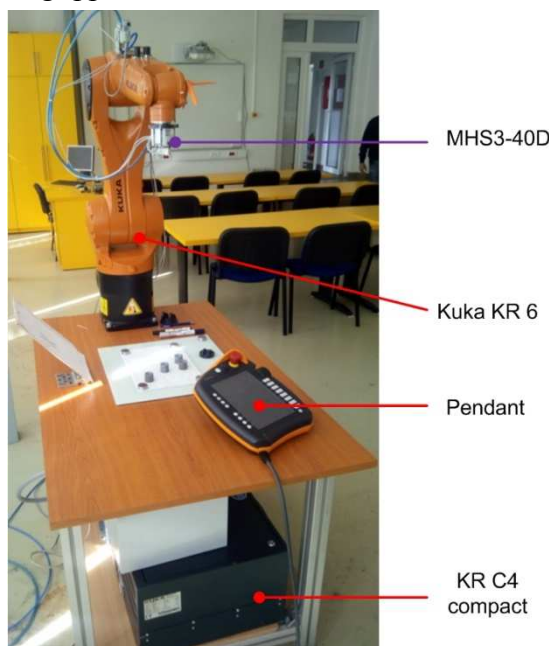
Base parameters robot KUKA KR 6 are shown in Table 1.

Table 1

*Kuka robot parameters [7]*

Weight	52 kg
Maximum load capacity	6 kg
Rated load capacity	3 kg
Workspace radius	901 mm
Speed	300 - 615°/s
Repeatability	+/- 0.03 mm
Power supply	230 V, 50 Hz / 2.5 kVA

**Current status in workplace.** The workplace is created especially for the needs of teaching and training according to the requirements of the project “Starting package of investment elements for lifelong learning at TUKE”. This is a special preparation of TUKE graduates for the needs of companies working in the deployment of robotized lines in the automotive industry, especially for VW and Daimler. The KUKA KR 6 industrial robot with the KR C4 Compact control system, the work table and the pneumatic gripper SMC MHS3 40D are located at the workplace (fig. 1).

*Fig. 1. Robotized workplace*

The latest generation of C4 control systems is available in five versions. Physically the smallest type is the C4 Compact, which has dimensions of 271 x 483 x 460 mm. It includes an SSD for faster response, can control 6 axes and 2 additional axes as an option. The weight of the unit is 33 kg and the ambient temperature in which it can operate is 5 to 45 °C. The interface used by the unit is USB 3.0, GbE and DVI-D and Display Port.

The pneumatic three-finger gripper MHS3 - 40D from SMC is characterized by the used cylinder of size series 40, fig. 2. The stroke of the double-action gripper is 8 mm. The clamping force is 118 N for gripping the outer surface of the object and 130 N for gripping the inner surface of the handling object. The weight of the fingerless gripper is 351 g. The repeatability of the gripper can be up to  $\pm 0.01$  mm. The gripper is fitted with a pair of end magnetic sensors to monitor the opening and closing of the fingers. The SY5120-5Y0-01F-0 valve from SMC is used to control the gripper [8, 9].



Fig. 2. Pneumatic gripper SMC

The proposed work scenario focuses on the handling process. The task of the students at the workplace will be to translate metal pipes of  $\text{Ø}26 \times 25$  mm (fig. 3) from designated positions to positions given by the teacher.

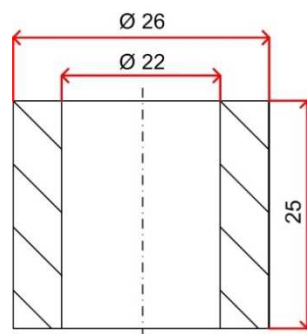


Fig. 3. Object of manipulation

**Proposal of robotized workplace.** The removal or storage location is located in the robot's workspace at the base of the robot or on an inclined plane. The usable working area on the table where the robot is located is 600 x 600 mm. The inclined plane is 300 x 300 mm and allows you to adjust the tilt angle from 0 to 90 °. The inclined plane includes a layer where four 60 mm magnetic strips are placed. The tapes are located below the chessboard area where students store the manipulation objects to ensure they are retained when the gripper opens.

In the work area is placed "checkerboard" External dimension of 300 x 300 mm in (fig. 4). The chessboard contains 16 (4x4) positions where manipulation objects can be stored. It is marked on the horizontal axis with numbers 1 to 4 and on the vertical axis with letters A to D. The diameter of the marked area is 27 mm, which allows to store the manipulation object with a tolerance of  $\pm 0.5$  mm.

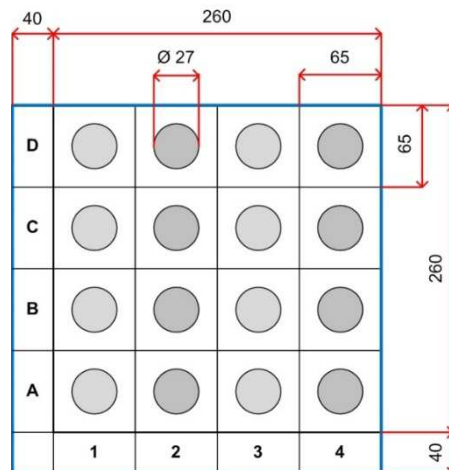


Fig. 4. Chessboard no. 1

When entering individual assignments by students, it is possible to choose different combinations. Most often, students are required to remove and transship 4 pieces of handling objects. If students have minimal experience in robot programming, a configuration is used where they remove and translate manipulation objects only on a horizontally placed chessboard. In (fig.5) is a view of the workplace where from the chessboard No. 1 (positions A1 and C4) it is necessary to move the manipulation objects to the chessboard No. 2. Location to store is (C1 and A3). The other two manipulation objects need to be moved from the chessboard no. 2 (D1 and B4) on chessboard no. 1 (A4 and D1).

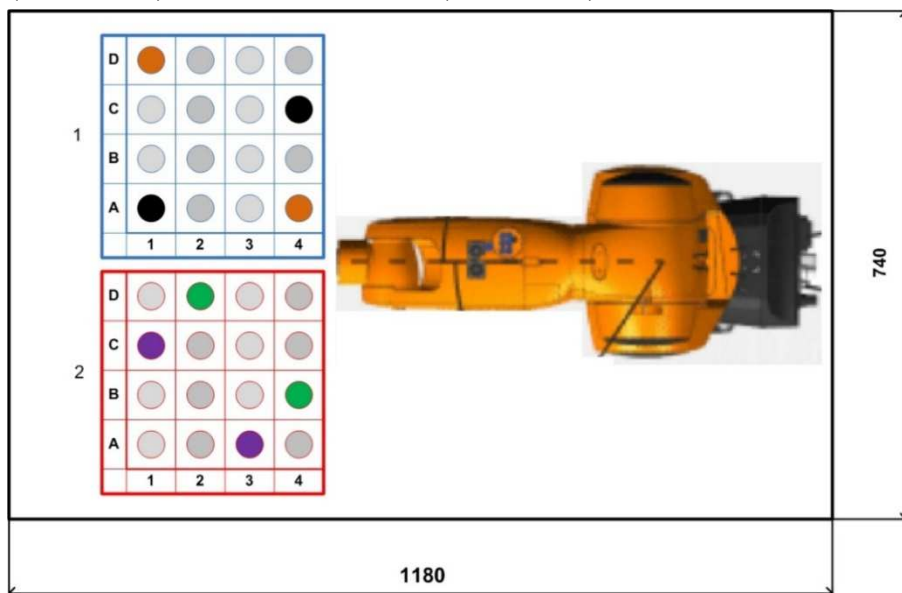


Fig. 5. Horizontal placement of two chessboards

Students with more experience in robot programming remove and store manipulation objects from a horizontal chessboard to an inclined chessboard. That is, they remove two manipulation objects from a chessboard located on an inclined plane to a chessboard mounted on a horizontal plane. At the same time, the other two manipulation objects translate from the horizontal chessboard to a chessboard mounted on an inclined plane, FIG. 6. An example of an assignment for a student can be as follows: translate manipulation objects from chessboard no. 1 (C1 and B3) to chessboard no. 2 (D2 and B4). Then translate the manipulation objects from chessboard no. 2 (B1 and D4) to chessboard no. 1 (A2 and C2).

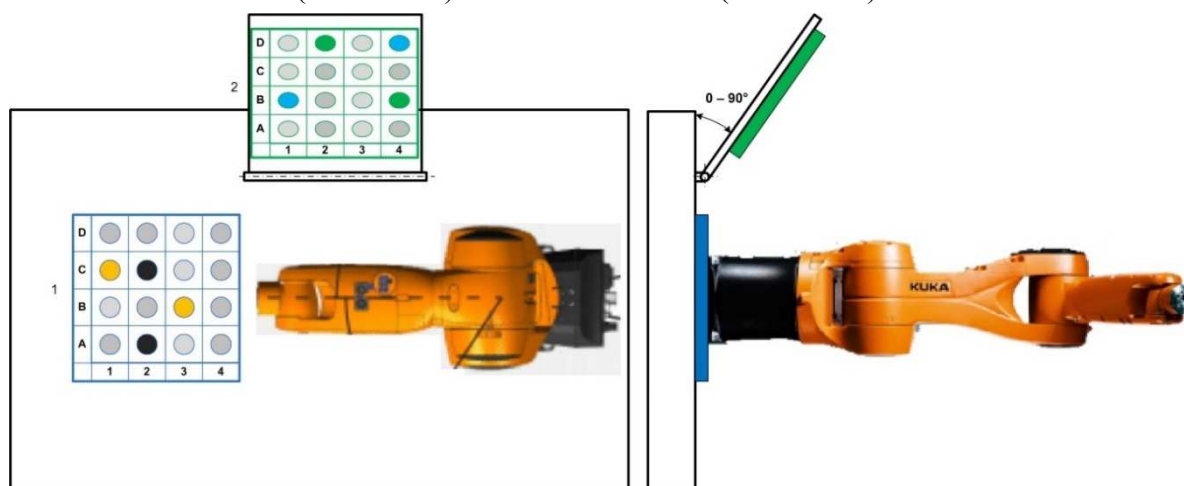


Fig. 6. Chessboard placed horizontally and on an inclined plane

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Since we have 32 (2x16) possible positions for taking and storing manipulation objects, there are a large number of possible combinations. This allows the teacher to customize the number of objects and the location of manipulation objects according to the individual needs of a particular student. The student's task is not only to program the robot trajectory, but also to be able to work with digital inputs and outputs. Using them, the student can control the closing and opening of the gripper in positions where individual objects of manipulation are taken and stored.

**Conclusions.** Creating a robotized workplace enabling students to improve their competences will ensure their better employment in the labor market. The possibility to create various configurations from the used chessboards allows the teacher to customize the assignment according to the needs or knowledge of a particular student. Placing the chessboard on an inclined plane improves the student's imagination for programming. To create a trajectory of movement, they use a shift in three perpendicular axes. However, to store or remove the manipulation object from an inclined plane, it is also necessary to use rotation about the respective axis. The use of pneumatic gripper puts demands on students to use inputs and outputs of the robot or logical variables.

**Acknowledgement.** This publication was supported by project VEGA 1/0389/18: Research and development of kinematic redundant mechanisms.

### References

1. Hajduk, M., Sukop, M., Semjon, J., Janos, R., Varga, J., Vagas, M. (2018). Principles of Formation of Flexible Manufacturing Systems. *Tehnički Vjesnik = Technical Gazette*. Vol. 25, no. 3, P. 649-654. ISSN 1330-3651.
2. Hajduk, M., Semjon, J., Varga, J. (2017). Utilization of SCARA robots in the assembly of electrical contacts. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. Vol. 6, no. 5. P. 360-365. ISSN 2278-0149.
3. Semjon, J. (2018). Programovanie priemyselnych robotov 1, 1. vyd. - Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2018. 123 p. ISBN 978-80-553-3283-3. (In Slovak).
4. Semjon, J., Kostka, J., Mako, P. (2019). Using the simulation program for the design and optimization of the production line. *Technical Sciences and Technologies. Černihiv (Ukrainia): Chernihiv National University of Technology*. Vol. 13, no. 3. P. 61-67. ISSN 2411-5363.
5. Kuka Deutschland GmbH: Pub Spez KR AGILUS sixx (PDF) en PB391/ Spez KR AGILUS sixx V14, Issued: 08.10.2018.
6. Kuka. Retrieved from <http://www.automatechrobotik.com/docs/Kuka%20Agilus.pdf>.
7. Kuka. Retrieved from <https://www.robots.com/robots/kuka-kr-6-r900-sixx>.
8. SMC. Retrieved from [https://content.smcetech.com/pdf/MHS3\\_3126.pdf](https://content.smcetech.com/pdf/MHS3_3126.pdf).
9. SMC. Retrieved from [https://www.smc.eu/portal\\_ssl/WebContent/local/DK/](https://www.smc.eu/portal_ssl/WebContent/local/DK/).

УДК 621.865.8:007.52

Ян Семйон, Мартін Кочан

## ПРОПОЗИЦІЯ РОБОТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ З РОБОТОМ КУКА KR 6 ДЛЯ НАВЧАЛЬНИХ ЦІЛЕЙ

**Актуальність теми дослідження.** Питання використання роботизованих робочих місць для навчання студентів технічних галузей є надзвичайно актуальним. Це дає змогу збільшити зайнятість студентів на ринку праці не лише для потреб сьогодення, але й для майбутнього. Розробка та реалізація навчального робототехнічного робочого місця дають можливість готувати студентів відповідно до їх потреб та сучасних знань.

**Постановка проблеми.** Мета рішення - розробити навчальне робоче місце для обробки, обладнане роботом Kuka KR6 та пневматичним ефектором. Ефектор з трьома пальцями SMC дозволяє утримувати та переносити предмети з максимальним зусиллям затиску 130 Н. В той же час робоче місце дозволяє розміщувати оброблювані об'єкти в загальній кількості на 32 позиціях.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Використання кутових промислових роботів поширилося і в інші галузі промисловості, де їх використовували лише час від часу. Це створює потребу в додатковому персоналі, здатному програмувати робота і налаштувати технологію для конкретної проблеми роботизованого робочого місця.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Покращення знань студентів або перепідготовка працівників створює передумови для їх кращого застосування в технічній практиці. Можливість реалізувати спеціалізовані програми на роботах промислового рівня готує студентів виконувати свою роботу без необхідності додаткового навчання, економлячи витрати та час для роботодавців.

**Постановка завдання.** Метою дослідження було розробити навчальне робототехнічне робоче місце з метою підготовки студентів відповідно до конкретних потреб роботодавців. Робоче місце дозволяє використовувати інші пневматичні захоплювачі, також можливо підключити загалом до 16 входів і виходів для з'єднання з іншими периферійними пристроями. Робот також може використовуватися для створення програми в середовищі ROS, що, в свою чергу, створює необхідність використання пристрою Kinect для виявлення неорієнтованих компонентів.

**Виклад основного матеріалу.** Використання робота, чия система управління KR C4 є однією з найсучасніших, дозволяє студентам підготуватися до потреб практики в найближчому майбутньому. Після закінчення навчання студент може програмувати он-лайн роботи Kuka для промислового використання.

**Висновки відповідно до статті.** Стаття висвітлює розробку та створення навчального роботизованого робочого місця для створення програм з використанням пневматичного захвату. Конструкція та використання шахової дошки дає можливість створити велику кількість можливих комбінацій для навчальних цілей. Це створює хорошу передумову для адаптації навчання до конкретних потреб груп, що навчаються. Використання горизонтальної та похилої площини навчить учнів використовувати систему координат інструменту або зовнішньої бази при програмуванні. З цієї причини програмування руху робота по правильній траєкторії є більш складним і покращує просторове сприйняття учнями робочої області робота.

**Ключові слова:** робот; програмування; навчання; логотип.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 9.

**Semjon Jan** – Associate Professor, PhD of technical sciences, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, Technical University of Kosice (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Семйон Ян** – доцент, кандидат технічних наук, механічний факультет, кафедра робототехніки, Технічний університет Кошице (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** jan.semjon@tuke.sk

**SCOPUS Author ID:** 55571411200

**Martin Kočan** – PhD student, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, Technical University of Kosice (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Кочан Мартін** – аспірант, механічний факультет, кафедра робототехніки, Технічний університет Кошице (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** martin.kocan.student@tuke.sk

Ivan Ihnat, Rudolf Jánoš

## INDUSTRIAL DESIGN APPROACH TO SPECIFIC ENGINEERING DESIGN

**Urgency of the research.** Prior to industrialization, individuals undertaking design were artisan craftsman, one can speculate on what expertise and knowledge those active in design might need in a future post industrialist age. Currently, though, the activity of industrial design is generally linked to product development in a manufacturing context. Industrial Design is inextricably a part of innovation and it can make a contribution in the broad categories of innovation activity:

**Target setting.** Industrial design is only one sort of design. It has much in common with architecture and the various versions of design within engineering. Indeed the relationship between industrial design and mechanical and production engineering is similar to that enjoyed by architects with civil engineers.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A design method is a normative scheme that specifies in detail a certain working procedure, the activities to perform, and also specifies order in which the activities should be carried out. It is usually very precise, and the designer is to follow it meticulously.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Most articles and other publications relating to problem of human-machine interaction, reduces this problem on ergonomic of controls and displays. In my article will be the ergonomic only one the constrains and I will not re-publish in my work anthropometric parameters, but I will put my effort on less common, but very important factors of industrial design in robotics.

**The research objective.** Concept originality means number of innovative features or technologies encompassed to robot concept. Score is for innovations could be in robot kinematic chain, drives, cabling, workspace, user interface, safety, etc.

**The statement of basic materials.** Engineering design has merit in continuous improvement of the basic parameters of the robot by applying newest outcomes of technology areas of mechanics, metallurgy, cybernetics to robot construction and control. Main objective of engineering design is to improve positioning accuracy, repeatability, load capacity, service life by the reduction of weight, energy demand, ecology impact and prices.

**Conclusions.** Design must be understood as a word that describes both a process and an outcome. It is the process of turning ideas into material things. Design cost is typically a very small portion of total product cost, but design process has major impact on product success.

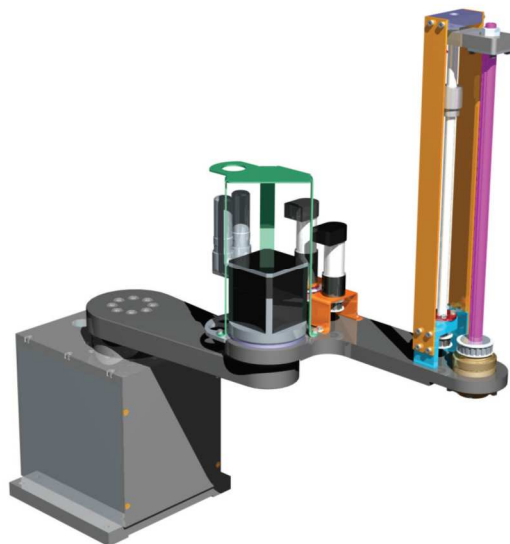
**Keywords:** industrial design; Scara robot; engineering design.

**Fig.:** 12. **References:** 8.

**Introduction.** Industrial robots have enormous social-economic importance. Prices of industrial robots has felled significantly. In 2000, the price of industrial robots was around 1/5th of the price of robots in 1990. With the increasing number of robots proportionally increases the number of people who come into contact with robots. While in the past there were mainly experts who experimentally introduced the robots to production in large enterprises, today robotics has become a necessity in small and medium-sized enterprises, so now are robots administered by more “ordinary” engineers and workers who are not specialized directly in robotics. With the trend of massive deployment of robots in smaller enterprises became a need for adaptation of industrial robots to a wider group of users as it was before. Adaptation is mainly in level of interaction between robots and humans. Analogies maybe in personal computers. Their first generation was programmed and operated by team of highly specialized experts in the field of informatics, who cared about their software and electrical engineering team, who maintained the hardware. Programming took place at the level of machine code and maintenance consisted of exchange of elementary defective computer parts. However, few current computer users have an idea about the binary code or the functioning of one of the tens of millions of transistors in the processor. Instead, the computers are effectively used for daily work and a lot of users can replace computer’s hard drive by themselves. The logical evolution of industrial robots, with their decreasing price should be in intensive “humanization”, so that they could become common tool for achieving high efficiency and quality even in SMEs – enterprises where a decade ago was not possible to deploy a robot for personal and financial shortcomings. Situation when the industrial robot will be so common in SMEs such as the laser printer is coming. To achieve this, it is necessary to create a new generation of industrial robots based on the principles of consumer affairs – on the principles of industrial design [1, 3, 4].

**Object of research.** Object of design research is experimental prototype of SCARA robot solved in department of Robotics of Faculty of Mechanical Engineering of Technical University of Košice, fig. 1.

Concept of robot is based on Yamaha YK400 scara robot. From this template has dual-shaft configuration of z-axis and laid-out second arm. General layout of this robot follows most popular design of scara robots. Kinematic description was carried out in section “Scara robot decomposition” [5].



*Fig. 1. New design of ballscrew shaft support*

The robot is powered by harmonic drives FFA-32B-80-L-RES-B, FFA-20-80-L-RES-B on first and second axis with direct drive. Rotational and linear movement of vertical arm is powered by two additional drives via belt drive [3].

**Pre-existing engineers' design.** In time of my involvement into project many strategical decision about robot design were already decided and many parts were machined – see fig. 2. Both arms had final shape. Base of the robot had only temporary construction and originally proposed design was able to absorb the changes without financial and material drawback. Z-axis subassembly utilizes dual-shaft configuration. Ballscrew shaft must be lubricated and cannot stay outside the cover, but must be isolated from surrounding [6].



*Fig. 2. Experimental SCARA robot*

The project of experimental SCARA robot is solved by department that have access to variety of production machines, but no access to foundry, thus the parts cannot be molded, even if it will be very effective. Denso SCARA robots have most body parts molded to achieve specific shape, which cannot be produced by machining. In this project most part will be machined on CNC machines, including complex shaped from aluminum alloys and steel. Thin



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

wall complex shaped parts (mostly covers) can be laminated to machined forms, but not injected. Specific parts can be produced by rapid prototyping methods.

**Laid-out arm.** Concept of laid out second arm of engineering proposal was inspired with Yamaha YK400. Laid-out arm allows to downsize size it and reduce moment of inertia. Using this concept, it is not appropriate for each arm, and if is incorrectly used, can have the opposite effect – increasing the moment of inertia. Limit criterion for this concept should be at first place the shortage of space for a drives of the third and fourth axis between the drive of second axis and Z-axis. In this case is laid-out concept appropriate. Side effect of laid-out concept is increasing of the weight of the arm (green box on following figure) and thus its moment of inertia. The transfer of drives of third and fourth axis closer to the axis of rotation may not sufficiently compensate the increase of weight of arm and in this case is the use of laid-out concept disadvantageous. Unfortunately, this is the case of processed engineering design of scara robot [8].

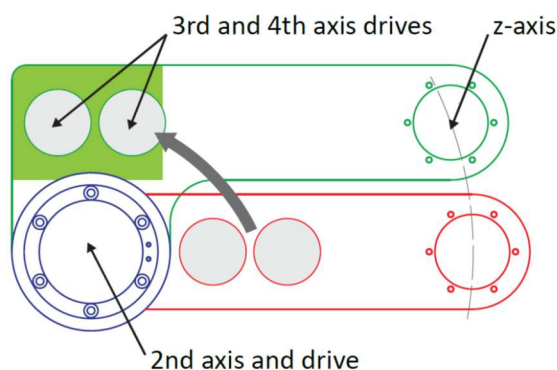


Fig. 3. Maximum gradeability of service robots

Instead of upper mentioned disadvantages, following design is build on laid-out second arm. The main reason for utilizing this concept is the state of the project and finished parts.

**First draft proposal.** First design of cover, fig.4 was proposed after my involvement to project of experimental SCARA robot. On this design I have defined volume of robot which need to be protected and covered. By designing of this first version I have identified first critical constrains of engineers' concept.

- Utilizing of laid-out second arm was disputed (see previous section).
- Second arm was too small for effective cover support.
- Z-axis subassembly is too wide at the top end for design that should express speed.

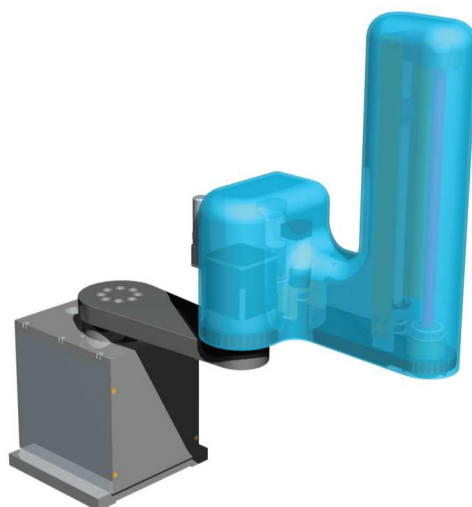


Fig. 4. First proposal of cover

**Second proposal.** This design was created for partial project evaluation. This concept deals with laminated covers of base and second arm. Design doesn't effects in any way the engineers' concept and only adds two part to existing parts. By designing of the shape was taken into account the technological process of laminating – releasing the laminated product from form and thus because all surfaces are slanted against the floor. One of the aims by styling of this design was to obtain smooth shapes of covers that will express speed of robot. On this concept I have confirmed that from box base will never be a smooth shape, nor if the edges are rounded, fig. 5 [7].



*Fig. 5. First proposal of cover*

**Major changes to engineering design.** First concept of robot carried out by robot engineers put ultimate constrains on final design. These constrains led to insufficient designs (first and second proposal) that did not satisfied me. After short research I have identified four major constrains of original design, fig. 6:

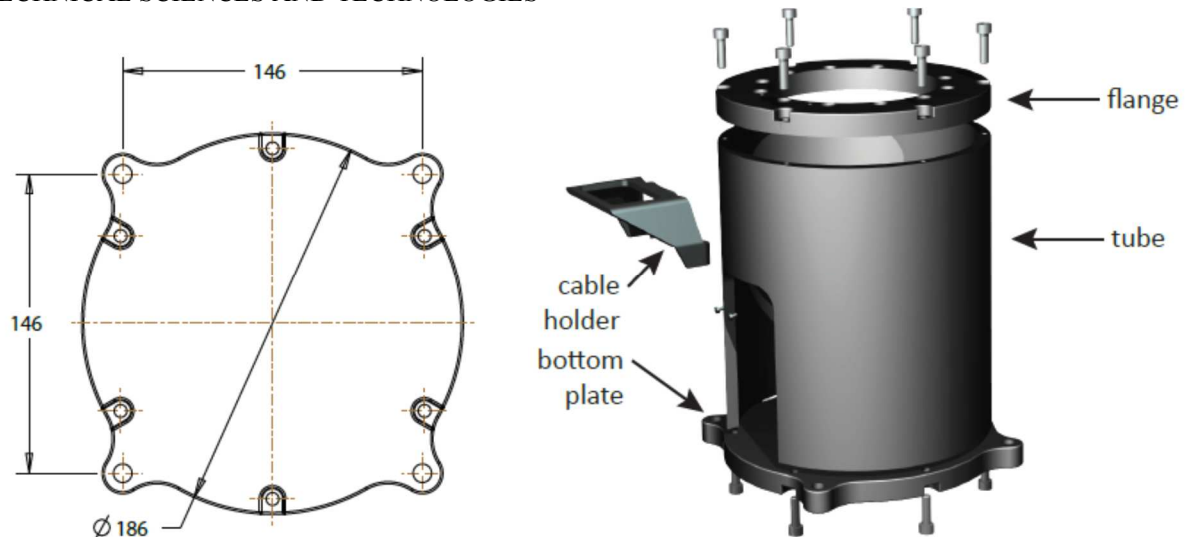


*Fig. 6. Engineers proposal of base, support of ballscrew shaft and second axis drive*

- Construction of base
- Support of ballscrew shaft
- Shape of second arm
- Orientation of second axis drive

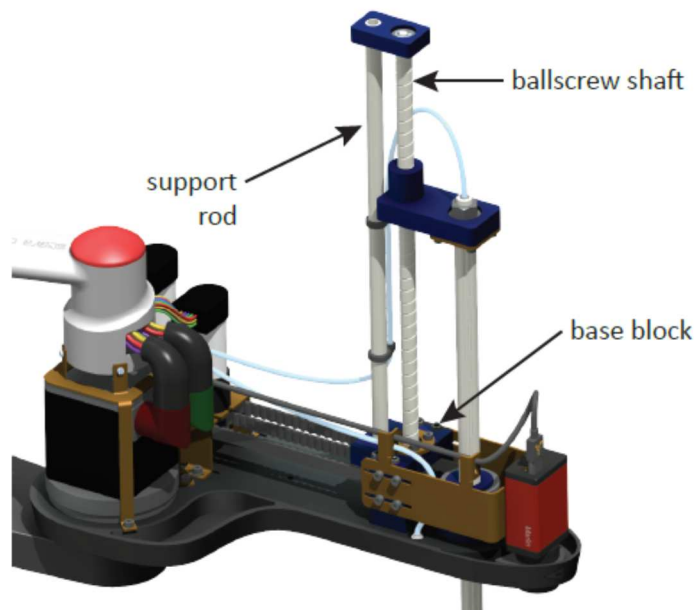
**Construction of base.** Engineering team designed base from two L-profiled parts. Disadvantage of this proposal was in large floor space of robot. I have tried to minimize floor space by designing new robot base.

Base consists of three parts. Bottom plate with holes for bolts that fixing robot to the floor has diameter only 186 mm. Mounting bolts have spacing 146 mm (original have spacing 180 × 210 mm). Middle part is tube with diameter 180 mm and height 200 mm. This part has also holder of bottom part of cable and cut for motor cables. Top part is circle flange for drive.



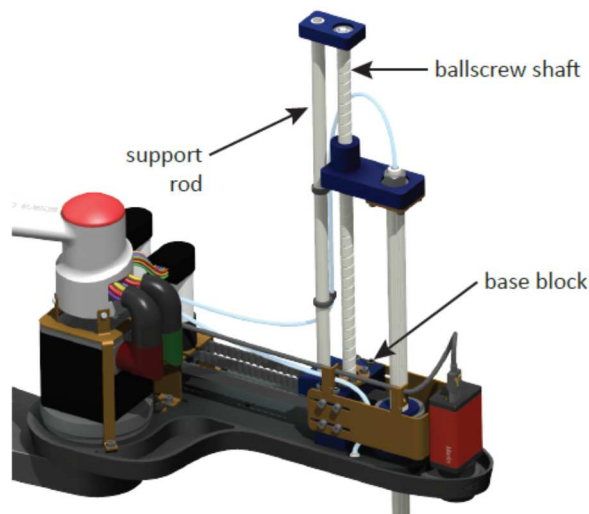
*Fig. 7. Mounting plate and redesigned base*

**Support of ballscrew shaft.** Support of ballscrew shaft in engineering concept was carried out by two parallel sheetmetal plates by sides of ballscrew shaft. Disadvantageous was the constant distance between these two sheetmetals that disabled to design effective cover. On the other hand parallel sheetmetals were not very rigid. In my concept I propose to support ballscrew shaft by rod for which is adopted existing base block of ballscrew shaft. This change brings reduce of wide of top part from 65 mm to only 30 mm, fig. 8.



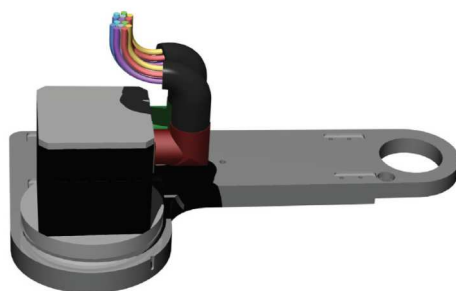
*Fig. 8. New design of ballscrew shaft support*

**Shape of second arm.** The shape of second arm of original design did not have enough space for holding the cover of arm. Unfortunately this arm is already machined, thus I have designed a thin frame around the arm to support the cover of arm. Frame increases the original arm for 4 mm on sides. This frame also covers the camera in front of z-axis and outgoing cables from second axis drive, which was rotated to fill cut in the arms as is described in following section, fig. 9.



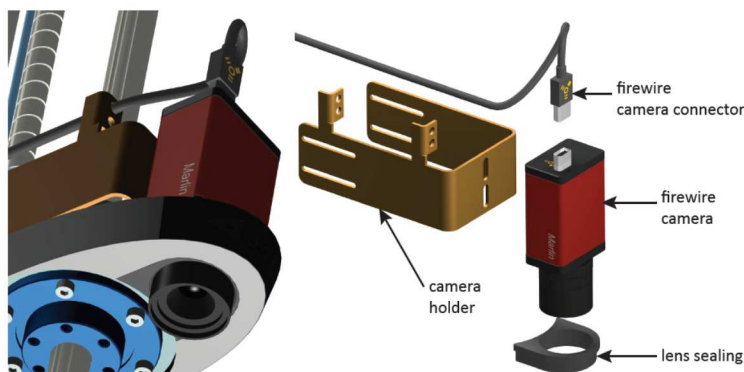
*Fig. 9. New design of ballscrew shaft support*

**Orientation of second axis drive.** In original design the second axis drive was oriented with wire terminal pointing to base. Cables in that design were overlapping the robot's arm that put requirement on additional volume of cover of arm. In final design the drive is rotated about  $180^\circ$  around the joint to point the cables to z-axis direction. This orientation fills the cut in the arm caused by laid-out concept and makes the arm visually more compact, fig. 10.



*Fig. 10. Orientation of second axis drive*

**Integrated vision system.** As was mentioned in analytical part of dissertation thesis most of the scara robot application requires vision system. In this concept is the camera located at the end of second arm in front of z-axis. This position is used in most current application, where is required to place lens at most closer position to z-axis. This design can hold up to medium size CCD or CMOS camera and standard lens. Camera is flexible attached to arm by sheetmetal camera holder. Holder can be positioned in front-back and up-down direction, fig. 11.



*Fig. 11. Orientation of second axis drive*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Final design.** Final design of robot, fig. 12 was proposed with respect to all defined requirements and constraints. Original concept of base and body was changed to meet overall design concept. At first place was the integration of breakthrough features like internal camera, fast-clipping covers and solid cable that can put the users' experience on higher level. Styling of this concept has effort to attract wide range of users and potential users, so at second place was to introduce original color and shape styling. Black painted visible metal parts are combined with two color covers, where light grey surfaces are combined with aggressive red. Shape of the covers hides all cables including main terminal and its connectors, which is visible only from back side. Shape of top cover part can evoke the shape of wing of air fighter, which expresses speed and power. All these features and stylings must meet ergonomic and safety criteria [2].



*Fig. 12. Final design*

**Conclusions.** Basing the analysis and the experience from process of designing the existing concept, can be concluded following:

- Industrial design is an integral part of product design including the robots.
- All products must be designed in respect to human criteria, including those where user contact is not common from a first point of view.
- Styling, shape form, color and other factors have their own rules and thus must be designed by a persons with appropriate knowledge – mostly industrial designers.
- Industrial designers must be involved at very first beginning of design proposal; later involvement can do both – raise the expenses and lead to design deficiency.

By utilizing previous statements was developed virtual 3D CAD model. This model of industrial design after reviewing by engineering team will be used for finishing the construction of existing experimental SCARA robot.

**Acknowledgement.** This work has been supported by the Slovak Grant VEGA 1/0389/18 Research on kinematically redundant mechanisms

### References

1. Aguilar, S.: Playing it safe with robotic welding, Practical Welding Today, 2004.
2. Akao, Y.: Quality Function Deployment: Integrating Customer Requirements into Product Design, Productivity Press 2004 ISBN: 1-56327-313-6.
3. Bogdanovič, L. B. – Burjan, V. A. – Rautman, F. I.: Design v strojárstve. Alfa, Bratislava, 1981.
4. Ramos, D. C., Moreno, U. F., & Almeida, L. (2016). Method for design and performance evaluation of ad hoc networked mobile robotic systems using, PapersOnLine, 49(30), 144-149.
5. Eco, U.: A theory of semiotics, Indiana University Press, 1979, ISBN 02-532-0217-5.

6. Hjelm, S. I.: Semiotics in product design, Centre for user oriented design 2002.
7. Jones, C. J.: Design Methods, John Wiley and Sons 1992, ISBN: 04-712-8496-3.
8. Krippendorff, K.: The Semantic Turn: A New Foundation for Design, CRC Press 2006, ISBN: 0-203-299995-7.

УДК 621.865.8

*Іван Ігнат, Рудольф Янош*

## НАБЛИЖЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ДИЗАЙНУ ДО СПЕЦИФІКИ ІНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ

**Актуальність теми дослідження.** До індустріалізації люди, які займалися дизайном, були майстрами-ремісниками, ы можна тільки припустити, який досвід та знання можуть знадобитися тим, хто займається дизайном у майбутню постіндустріальну епоху. Однак, в даний час діяльність в галузі промислового дизайну, як правило, пов'язана з розробкою продукції у контексті виробництва. Промисловий дизайн є невід'ємною частиною інновацій, і він може зробити свій внесок у різні категорії інноваційної діяльності

**Постановка проблеми.** Промисловий дизайн - це лише один вид дизайну. Він має багато спільного з архітектурою та різними версіями дизайну в рамках інженерних робіт. Насправді взаємозв'язок між промисловим дизайном та машинобудуванням і промисловим виробництвом аналогічний тому, яким користуються архітектори з цивільними інженерами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Метод проектування - це нормативна схема, яка детально описує певну робочу процедуру, виконувани дії, а також визначає порядок, в якому ці дії повинні здійснюватися. Зазвичай це дуже точно, і проектувальник повинен ретельно стежити за цим.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більшість статей та інших публікацій, що стосуються проблеми взаємодії людина-машина, фокусуються на проблемі ергономічності елементів управління та дисплеїв. У моїй статті будуть лише ергономічні обмеження і не будуть повторно публікуватися антропометричні параметри, але будуть спрямовані зусилля на менш поширені, проте дуже важливі аспекти промислового дизайну в робототехніці.

**Постановка завдання.** Оригінальність концепції означає низку інноваційних функцій або технологій, що охоплюють концепцією робота. Цінність іновацій може мати місце у кінематичному ланцюзі робота, приводах, кабелях, робочій області, інтерфейсі користувача, безпеці тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Інженерне проектування має перевагу в постійному вдосконаленні основних параметрів робота шляхом застосування новітніх досягнень технологічних областей механіки, металургії, кібернетики для конструювання та управління роботом. Основна мета інженерного проектування - підвищити точність позиціонування, повторюваність, вантажопідйомність, термін служби за рахунок зменшення ваги, енергоспоживання, впливу на навколишнє середовище та ціни.

**Висновки відповідно до статті.** Під проектуванням слід розуміти слово, яке описує як процес, так і результат. Це процес перетворення ідей у матеріальні речі. Витрати на проектування, як правило, становлять дуже невелику частину загальної вартості виробу, але процес проектування має значний вплив на якість виробу.

**Ключові слова:** промисловий дизайн; робот Scara; інженерне проектування.

Рис.: 12. Бібл.: 8.

**Ihnáth Ivan** – Doctor of Technical Sciences, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Ігнат Іван** – доктор технічних наук, Технічний університет Кошице, Механічний факультет, кафедра робототехніки (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** ivan.ihnath@tuke.sk

**Jánoš Rudolf** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Рудольф Янош** – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице, Механічний факультет, кафедра робототехніки (Park Komenskeho 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** rudolf.janos@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 55016528600

*Alexander Gmiterko***SNAKE-LIKE ROBOT RECTILINEAR MOTION ANALYSIS**

**Urgency of the research.** Some animal locomotion mechanisms are often used for robot designing because of their appropriate properties for some kinds of environments. A snake has excellent skeletal structure which provides it advantageous properties for reaching places where other kinds of mechanisms cannot move and operate.

**Target setting.** A biologically snake by mathematically way is described. The properties of  $N$ -mass mechanical system by increasing number of masses are changed with the certain regularity which in this paper is determined.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Only a few previous decades the researchers and the designers started to copy the animal motion to the mechanisms. The principal motivations of the snake locomotion are the environments where the traditional machines are not applicable due their dimensions or shapes and where the accessories like the wheels or the legs fail.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The rapid development of robotics and technologies offers large spectrum of a robotic devices use for hard reach areas or man danger zone. Some animal locomotion mechanisms are often use for robot designing because of their appropriate properties for some kinds of environments.

**The research objective.** Within this research one of four basic snake gaits is analysed.

**The statement of basic materials.** There exist various kinds of rectilinear motion models, for example models with masses, dampers and springs. In this study we will deal only with the mass model.

**Conclusions.** The paper also deals with the force effects on  $i$ -th moving mass of system and based on this the average velocity of the system is derived. In the conclusion the optimal number of masses  $N$  is established in order to the average velocity could be maximum.

**Keywords:**  $N$ -mass system; robot; snake.

**Fig.:** 6. **References:** 6.

**Introduction.** Some animal locomotion mechanisms are often use for robot designing because of their appropriate properties for some kinds of environments. A snake have excellent skeletal structure which provides it advantageous properties for reaching places where other kinds of mechanisms cannot move and operate. Moreover, snake motion is very stable because during its motion it has most body parts in the contact with the surface. This area of research is in most cases only in theoretical level since the snake-like robots are very difficult to design and control. However there are some cases which in the practical level are used. For example Israel army developed snake-like robot which for survey purposes is used as we can see on the Fig. 1.

A rectilinear motion is the second basic motion of snakes and absolutely differs from other ways of the snake motion. The rectilinear motion is specific for the snakes with large body disabling them lateral undulation motion. This type of motion is slower then other ones. During the motion the abdominal scales are alternately smoothly lifting up from the surface and drawing forward and then lowering down. The parts of the abdomen skin are drawing forward and so the abdominal scales are joining in the bunch. This part of the body is then pushing down and the sides of the abdomen go down on the surface. Although this type of motion is not very effective but its properties are appropriate especially for narrow spaces [1, 2, 4].



*Fig. 1. The military snake robot [5]*

**Mathematical model.** There exist the various kinds of mathematical models of a snake-like robot motion depending on gait pattern. If a robot use passive wheels there is sufficient use only kinematic model (mostly within lateral undulation motion), however robot which doesn't use any equipment (active or passive wheels, tracks etc.) for motion have to be described by dynamic model. The snake-like robots with wheels reduce friction forces acting between robot and surface however within robots without wheels friction forces play an important role during a motion. Generally there are used two kinds of friction models such as Coulomb's friction model and viscous friction model. There exist various kinds of rectilinear motion models, for example models with masses, dampers and springs. In this study we will deal only with the mass model. If we want to analyze a snake body we have to see its biologically body as the series of  $N$  homogeneous consecutive elements where each element performs some activity as we can see on the Fig. 2.

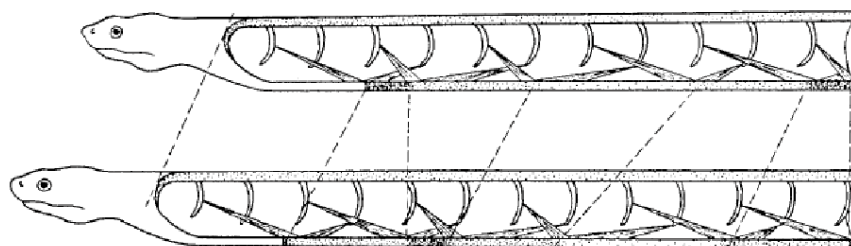


Fig. 2. The Anatomy of Rectilinear motion [6]

Some body parts are in static contact with the surface while other are shortened or lengthened. Combination of these activities the rectilinear motion is performed. In the Fig. 3 a simplified model of a snake is shown. The snake rectilinear motion on this model will be analyzed [3].

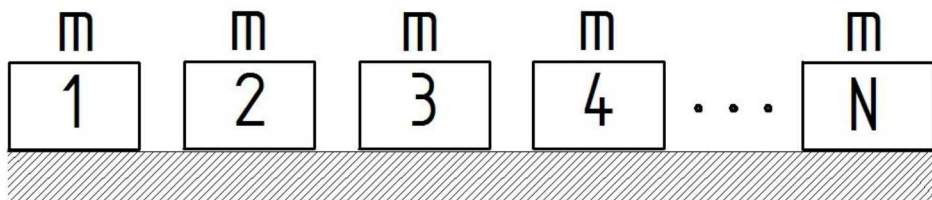


Fig. 3. Simplified model of a snake

Before we derive mechanical system average velocity we will analyze mechanical system consisting of three and four masses. Each system will be consists from  $N$  phases and each phase into two sections is divided. During the first section  $i$ -th mass to the  $(i+1)$ -th mass is attracted and during the second section  $i$ -th mass is slowed down.

**Three-mass mechanical system.** The motion sequence of 3-mass system is:

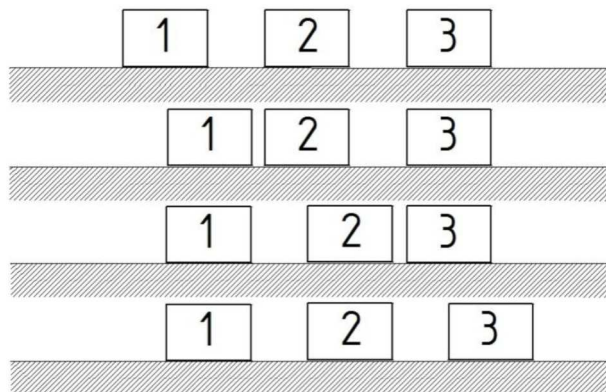


Fig. 4. The motion sequence of a three-mass system



The motion of this mechanical system consists of three phases. During the first phase the mass 1 will be attracted to the mass 2 while masses 2 and 3 stay at rest (it means that actuator between mass 2 and 3 maintains their relative position and they behave as one mass). The propulsive force is maximal force which can affects on masses 2 and 3 so that these masses can stay at rest. Forces of dry friction, obeying Coulomb’s law, act between the masses and the surface. In this case Coulomb’s friction force depends on direction of velocity of moving mass and its weight  $m$ .

$$F_p = 2k g m$$

The first phase duration is:

$$t_{cl}^{(3masses)} = \sqrt{\frac{4s}{kg}}$$

Where  $k$  is friction coefficient (system behaves with isotropic characteristics),  $s$  is maximum possible extent between two masses and  $g$  is gravitational acceleration. During the second phase the mass 2 is attracted to the mass 3 while masses 1 and 3 stay at rest. The propulsive forces between masses 1 and 2 and between masses 2 and 3 are:

$$F_{p1} = F_{p2} = k g m$$

The second phase duration is:

$$t_{c2}^{(3masses)} = \sqrt{\frac{4s}{kg}}$$

During the last phase the mass 3 is pushed from mass 2 while masses 1 and 2 stay at rest. The propulsive force is:

$$F_p = 2k g m$$

The third phase duration is:

$$t_{c3}^{(3masses)} = \sqrt{\frac{4s}{kg}}$$

We can see that in each moment of the motion the same total force on each moving mass is affecting. The average velocity of the 3-mass system is:

$$v_A = \frac{1}{6} \sqrt{k g s}$$

**N-mass mechanical system.** Based on previous findings we can derive the average velocity of N-mass mechanical system.

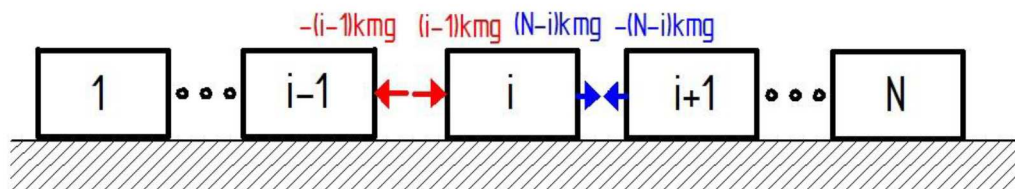


Fig. 5. N-mass mechanical system

According to the Fig. 5 N-mass mechanical system we can describe two propulsive forces affecting  $i$ -th moving mass in arbitrary time as:

$$F_{p1}^{(i)} = (i - 1)k g m$$

$$F_{p2}^{(i)} = (N - 1)k g m$$

Where  $i=2, 3, \dots, N-1$ . For ending masses the propulsive force is:

$$F_p^{(1,N)} = (N - 1)k g m$$

Total force which affects i-th moving mass is:

$$F_T^{(i)} = (N - 2)kgs$$

Based on previous equations we can derive relation of the average velocity of N-mass system.

$$v_A^{(N)} = \frac{1}{N\xi} \sqrt{kgs}$$

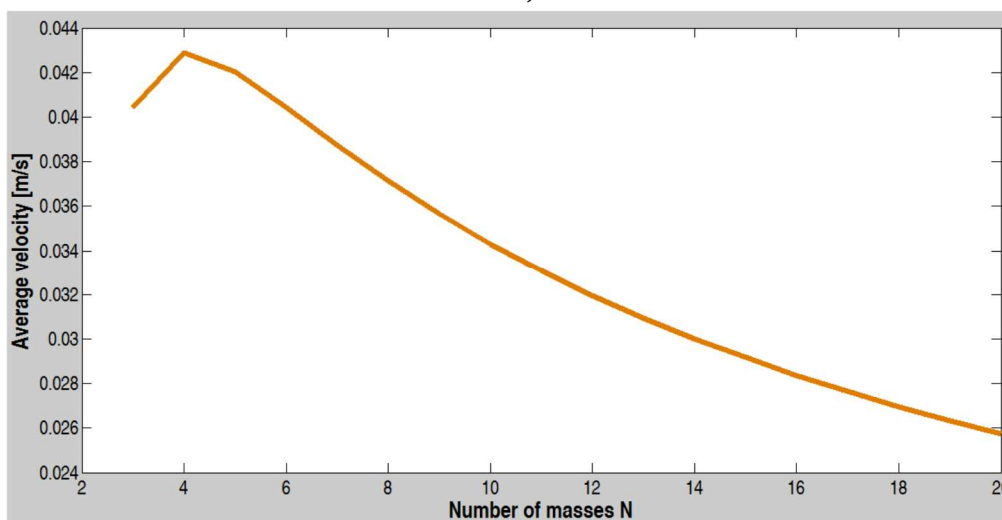


Fig. 6. The average velocity depending on number of masses  $N$

Determination of optimal masses number we can obtain by determination of local extremum by derivation according to masses number  $N$ . The mechanical system will have the maximum velocity when  $N=4$ .

**Conclusion.** Only a few previous decades the researchers and the designers started to copy the animal motion to the mechanisms. The principal motivations of the snake locomotion are the environments where the traditional machines are not applicable due their dimensions or shapes and where the accessories like the wheels or the legs fail. Within this research one of four basic snake gaits is analyzed. A biologically snake by mathematically understandable way is described. The properties of  $N$ -mass mechanical system by increasing number of masses are changed with the certain regularity which in this paper is determined. The paper also deals with the force effects on  $i$ -th moving mass of system and based on this the average velocity of the system is derived. In the conclusion the optimal number of masses  $N$  is established in order to the average velocity could be maximum.

### References

1. Shan, Y., Koren, Y. (1993). Design and motion planning of a mechanical snake, *IEEE Transaction on systems, man, and cybernetics*, 23, 4 [in English].
2. Maity, A. , Mandal, S. K. & Mazumder, S., Ghosh, S. (2009). Serpentine robot: An overview of current status & prospect, *14th National conference on machines and mechanisms*, (pp. 272-275) [in English].
3. Virgala, i., Gmitterko, A. (2011). Simplified model of the snake rectilinear motion, *Proceedings of 9th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics*, (pp. 307-310) [in English].
4. Transeth, A. A., Pettersen, K. Y. (2006). Developments in snake robot modelling and locomotion, *International conference on control, automation, robotics and vision*, 1-4244-0342-1 [in English].
5. Glaser, A. (2017). Robots copy their coolest moves from animals. *www.vox.com*. Retrieved from <https://www.vox.com/2017/5/28/15702270/robots-imitate-animals-movement-snakebot-cheetah-rhex> [in English].

6. Bayraktaroglu, Z. Y., Kilicarslan, A., Kazucu, A., Hugel, V. & Blazevic, P. (2006). Design and control of biologically inspired wheel-less snake-like robot, *Proc. IEEE/RAS-EMBS Int. Conf. Biomedical Robotics and Biomechatronics* [in English].

УДК 004.4

Олександр Гмітерко

## АНАЛІЗ ПРЯМОЛІНІЙНОГО РУХУ ЗМІЄПОДІБНОГО РОБОТА

**Актуальність теми дослідження.** Деякі механізми пересування тварин часто використовуються для конструювання роботів завдяки деяким їх властивостям, що підходять для певних видів навколишнього середовища. Змія має відмінну структуру скелета, що надає їй переваги для досягнення тих місць, де інші види механізмів не можуть рухатися та функціонувати.

**Постановка проблеми.** Математично описана біологічна змія. Властивості механічної системи з  $N$ -масами за рахунок збільшення кількості мас змінюються за певною закономірністю, яка визначається в даній роботі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Лише протягом попередніх десятиліть дослідники та дизайнери почали відтворювати рух тварин у механізмах. Головною перевагою використання змієподібного переміщення є такі середовища, в яких традиційні машини не можуть бути застосовні через їх форму чи розміри, і де не можуть працювати пристрої на колесах чи ніжках.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Швидкий розвиток робототехніки та технологій пропонує широкий спектр використання роботизованих пристроїв у важкодоступних місцях або небезпечній зоні для людини. Деякі механізми пересування тварин часто використовуються для проектування роботів через їх відповідні властивості для деяких видів навколишнього середовища.

**Постановка завдання.** У рамках цього дослідження проаналізовано один з чотирьох основних зміїних рухів.

**Виклад основного матеріалу.** Існують різні види прямолінійних моделей руху, наприклад, моделі з масами, демпферами та пружинами. У цьому дослідженні розглядається лише масова модель.

**Висновки відповідно до статті.** У статті розглядається вплив сили на  $i$ -ту рухому масу системи і на основі цього визначається середня швидкість системи. У підсумку встановлюється оптимальна кількість мас  $N$  для того, щоб середня швидкість могла досягати максимальних значень.

**Ключові слова:**  $N$ -масова система; робот; змія.

Рис.: 6. Бібл.: 6.

**Gmiterko Alexander** – prof. Ing., CSc., Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

**Гмітерко Олександр** – кандидат технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Kosice, Slovakia).

**E-mail:** alexander.gmiterko@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 7801318924

UDC (07)621.7.621.8

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-68-73

Peter Tuleja

## MEASURING METHODOLOGY AND PARAMETRIC TESTS OF ROTARY POSITIONING TABLE

**Urgency of the research.** The use of positioning tables as peripheral devices for production or robotic technology is an urgent need for today's automated operations. Since their task is to extend the user's possibilities in the workplace, their design and control method and, last but not least, the technical parameters must correspond to the level of machine tools and robots.

**Target setting.** The aim of this paper was to approach in a real case the methodical approach to the determination of key parameters of rotary positioning units intended for manufacturing technology and robotics. The tests carried out on the real representative gave an answer to the question of the applicability of the selected methodology for measuring selected parameters of the rotary uniaxial positioning table.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Research in this area consisted in designing a methodological basis for obtaining relevant data useful for evaluating the technical level of the prototype being measured.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In the paper and basically also in the performance of the tests on the VAPOS module it was not possible to perform full parametric tests for some problems related to the technical design of the sample (prototype), therefore the proposed measurement methodology focused rather on the issue of making and justifying the use of some building elements of the table.

**The research objective.** The aim of the project and the article was to verify the validity of the methodology used and to verify the suitability of the type of reducer used in such a technique.

**The statement of basic materials.** The basic materials for the creation of the article were processed data from sample measurement at our department. Some of the data contained in the measurement protocol was not difficult to disclose because it is the know-how of the department and the sponsor.

**Conclusions.** The conclusions of the paper and the project show the suitability of the chosen methodology and the results from measurements according to this methodology were used for further improvement of the design of the rotary table at the manufacturer and in the development of new types of reducers of their supplier.

**Keywords:** methodology; rotary table; accuracy; indexing; parametric test.

Fig.: 13. Table: 1. References: 9.

**Introduction.** In production in robotic plants, the equipment of the robotic structure is greatly limited by the complexity of application of the workplace. In order to achieve all the required positions of the working tool (eg welding torch or welding tongs) (eg in arc welding or spot welding), the workstation must be equipped with a suitable peripheral device. Such a device serves as a tool to extend the application possibilities of the workplace.

In current technical practice, positioning rotary modules are increasingly used in machine tools and robotized workplaces, both in the position of the next working axis of the machine / robot and in the position of the positioning device for positioning the machine / robot tooling.

Positioning devices designed for machine tools are offered by almost all leading companies in the manufacturing machine segment (eg Tsudakoma Corp., Japan, Nikken Comp., Japan and others), fig. 1. Units of this type shall be manufactured in single, double and triple versions.



Fig. 1 Rotary tables [7],[8],[9]

**Rotary table tests.** Parametric tests carried out on such devices depend on the intended use. These tests are precisely defined in international (ISO 230-2 / 1997 - only rotary and linear axes in uniaxial design) and national (JIT, DIN) standards. The standard measurement methodology resulting from the norms is to some extent adapted by individual manufacturers according to the application deployment of such a unit.

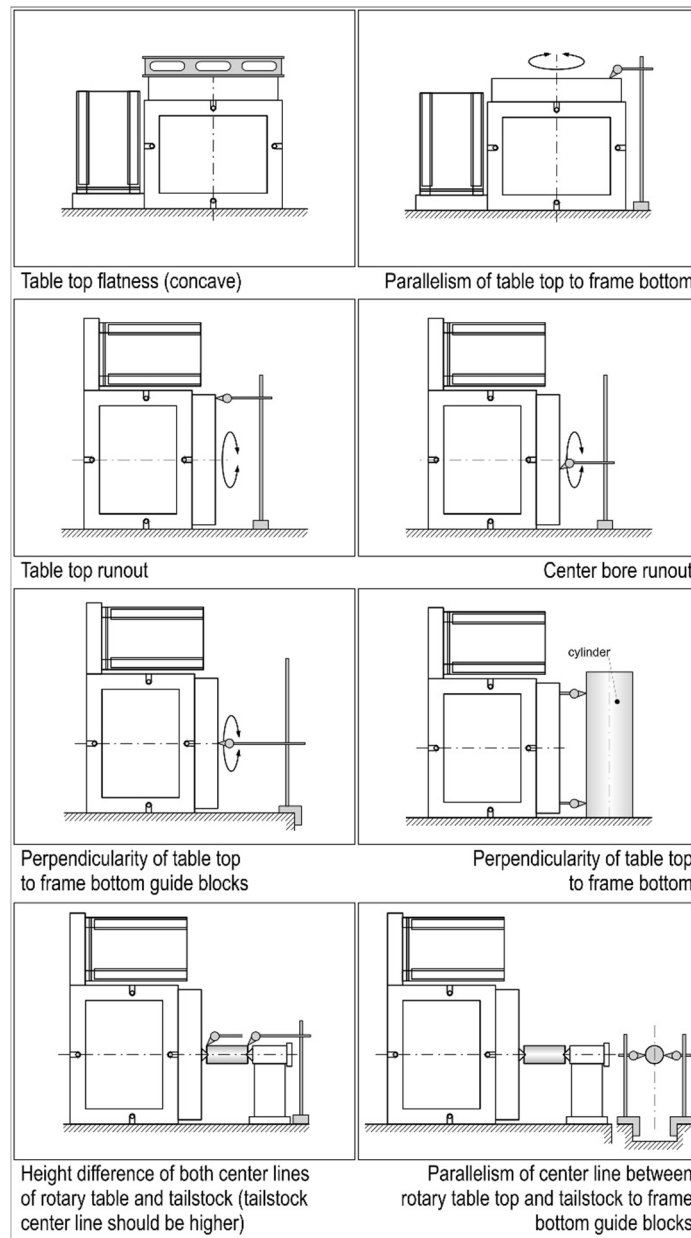
TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Types of tests.** Tests performed on a rotary table can be divided into two basic groups [6]:  
 (a) *tests of geometric accuracy* achieved in the manufacture of module components;  
 (b) *tests for accuracy and repeatability of the module stop* at the programmed position of the rotary module.

Geometric accuracy of execution of individual module components consists of a total of 8 measurements of parameters, table, ultimately determining its applicability.

Table

*Geometrická presnosť vyhotovenia stola [2]*



The basis for making these measurements is the methodology for verifying the geometrical parameters of machine tools (the so-called Schlesinger methods).

The measurement chain for these tests shall consist of an odometer and a standard reference body, Table 1.

Given the accuracy and application of the tables, it is necessary to use gauges with the appropriate accuracy class (min. 0.01 mm).

Repeatable stopping accuracy in the programmed position (so called indexing) is based on repeated stopping of the module table at the programmed point while measuring the absolute repeated inaccuracy of the module stopping in this position [1, 3].

**Rotary table VAPOS 300 [5].** A single-axis rotary, continuously controlled positioning module with SIEMENS Simudrive 611 control was used to create the methodology and perform tests to verify it. The TWINSPIN TS240 / 121 reducer (manufactured by SPINEA, Slovakia) was used by the manufacturer to reduce the nominal speed of the servomotor.

Figure 2 shows a representation of the rotary module with its principle (arrangement of functional parts) as well as some of its parameters.

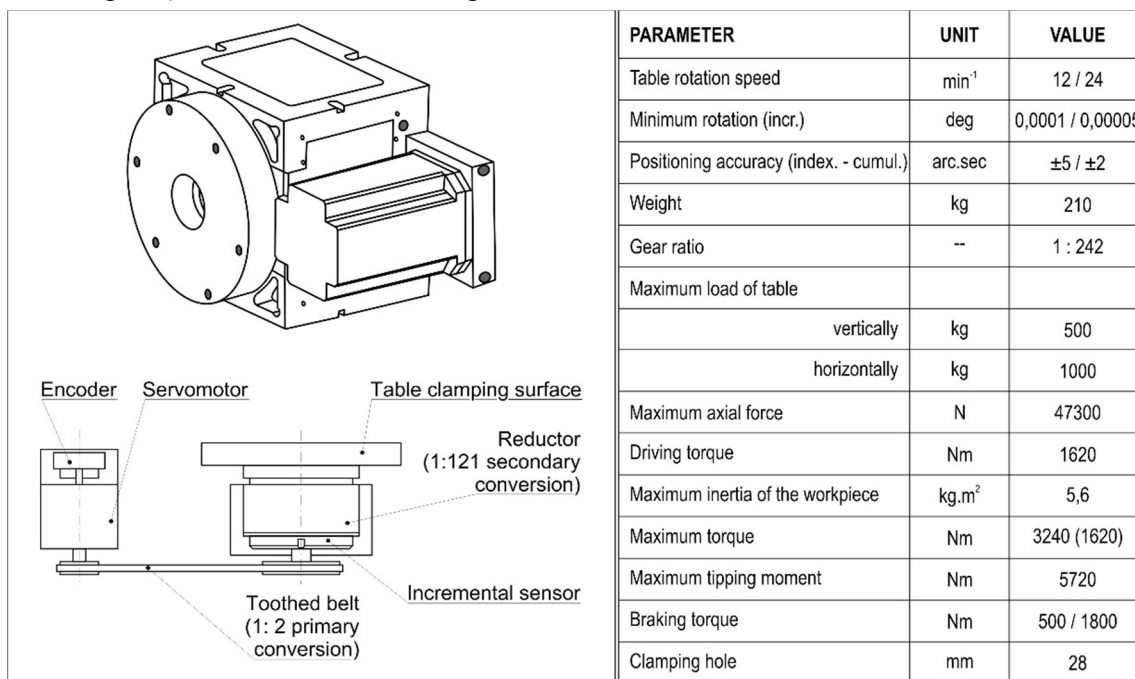


Fig. 2. Rotary table VAPOS 300 [5]

**Tests of VAPOS 300 rotary table.** The positioning table was subjected (according to customer requirements) to some kinematic tests, indexed positioning accuracy and partial frequency analysis of the behavior of the mechanical part of the table was performed. Tests were carried out with no load and technological load.

The technological load during the measurement was caused by the cutting process when machining the test piece on a mechanical cantilever milling machine, fig. 3.

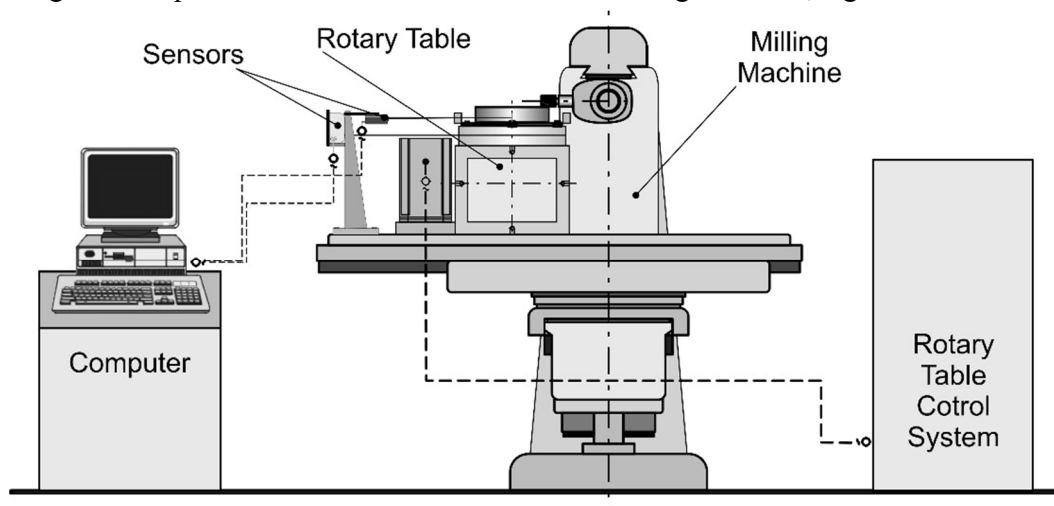


Fig. 3. Measuring set (measuring string) Source: author

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**a) Kinematic tests of rotary table**

In the kinematic tests of the table, the measurement of the path, speed and acceleration of the table was performed without load and at the technological load. Figures 4, 5 and 6 show graphical recordings of measured paths, speeds and accelerations without load. The measurement of the kinematic characteristics of the table was performed by the DSS-5L cable track sensor with the MIS-3 measuring card and the ProMeS evaluation software.

Figures 7, 8 and 9 show graphical records of the measured course of the path, speed and acceleration of the load table.

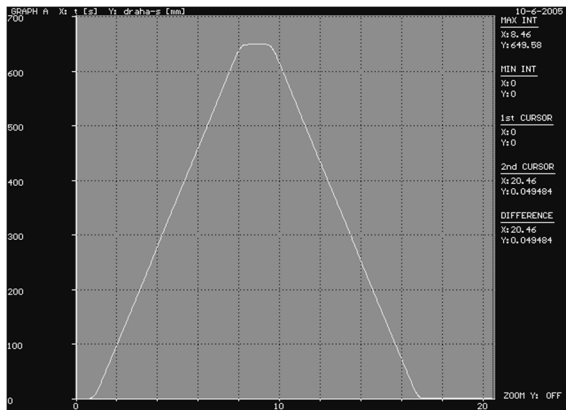


Fig. 4. Table path (no load)

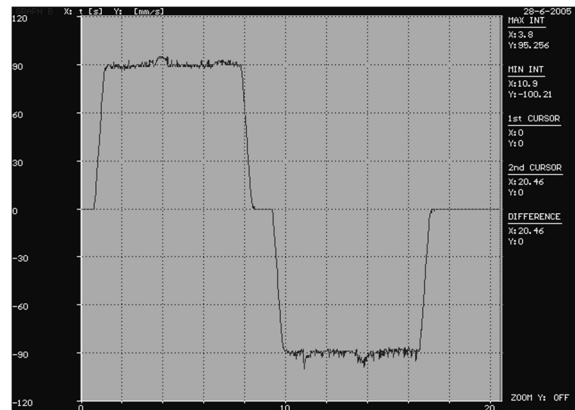


Fig. 5. Table speed (no load)

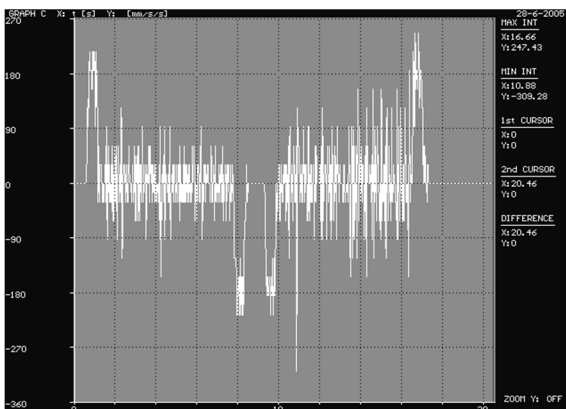


Fig. 6. Table acceleration (no load)

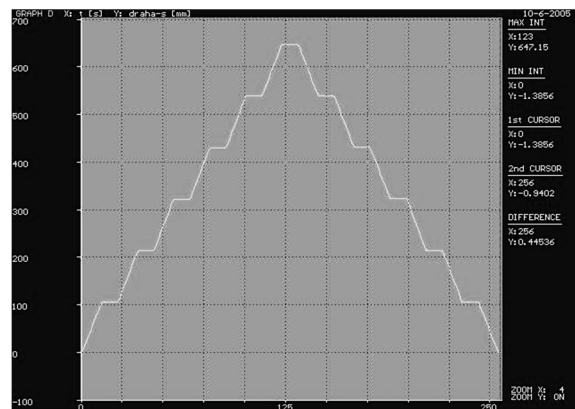


Fig. 7. Table path (with load when indexing)

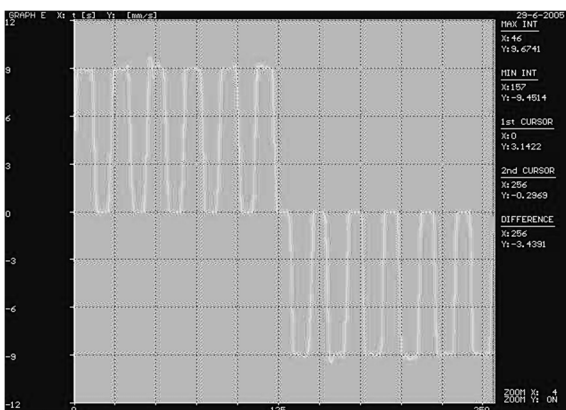


Fig. 8. Table speed (with load when indexing)

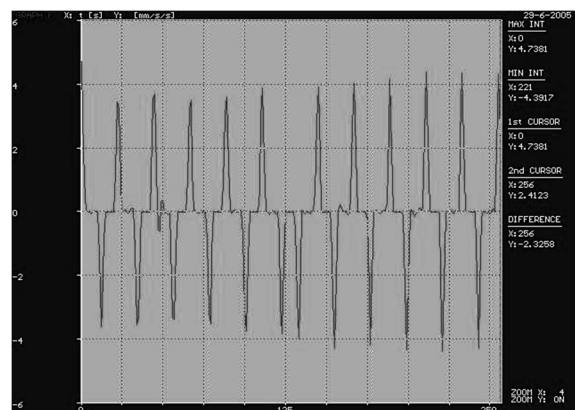


Fig. 9. Table acceleration (with load when indexing)

**b) Table tests of accuracy when indexing**

The indexed table accuracy test methodology is described (for uniaxial tables) by the international standard ISO 230-2 / 1997. Every company producing rotary modules is bound by this methodology. This consists of programming the rotary module for repeated stopping at the measured points, and deviations from the programmed value are read and recorded. Measurements are made at eight or sixteen points while turning the table CW and CCW. Measurement of deviations is usually performed by a precision rotary encoder (incremental, encoder, etc.). A graphical representation of the deviations measured according to this methodology is shown in Fig. 10.

The VAPOS table measurement methodology was carried out in a modified version, as the rotary module delivered for testing was not equipped with the necessary sensory equipment and the positioning surface did not have the necessary parameters (it was a prototype).

We chose the aiming system of targets fixed in the positions of the clamping holes (6xM16) with the laser sensor ZX-LD 100 from OMRON.

A graphical representation of the course of the measured deviations is shown in Fig. 11.

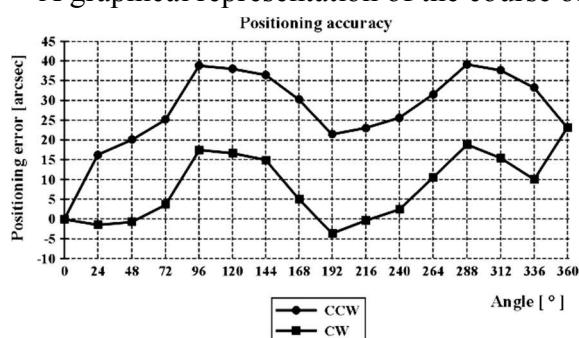


Fig. 10. Positioning accuracy CCW/CW

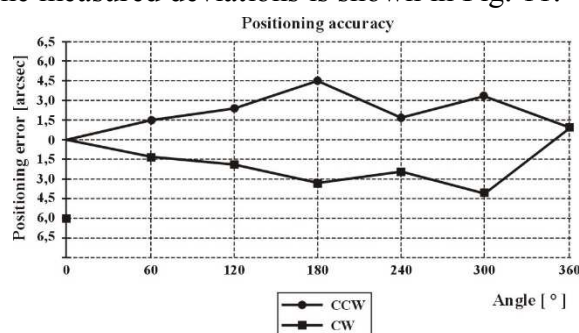


Fig. 11. Modified positioning accuracy CCW/CW

**c) Table frequency analysis**

The rotary table vibrations were measured only in a tangential direction by the piezoelectric acceleration sensor (ADASH, Czech) at a radius of 128 mm from the center of the table rotation.

The table operation modes were identical to those loaded during the kinematic test and indexed positioning accuracy measurements.

The graphical waveforms of the measured table vibrations are shown in Fig. 12 and 13.

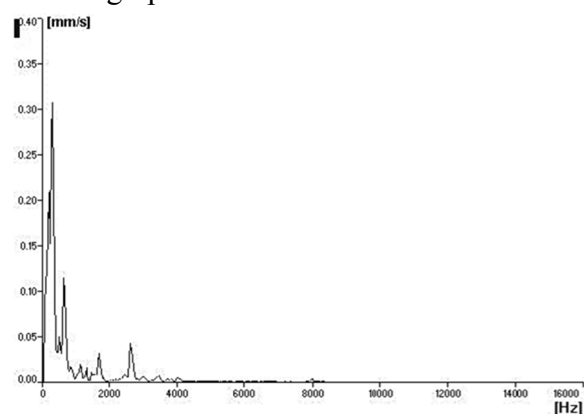


Fig. 12. Table frequency analysis (a)

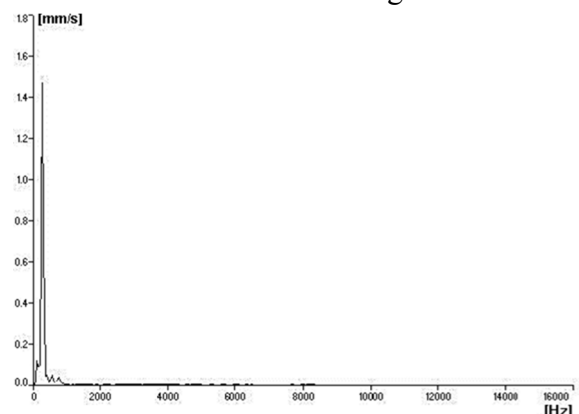


Fig. 13. Table frequency analysis (b)

**Conclusions.** Positioning rotary modules, as a tool for increasing technological parameters of production equipment performance, will continue to be increasingly used in technical and technological practice. their users.



**Acknowledgement.** *This contribution is the result of the project implementation: Re-search modules for intelligent robotic systems (ITMS: 26220220141) supported by the Re-search & Development operational Program funded by the ERDF.*

### References

1. ČSN ISO 230-2:1997. Zásady zkoušek obráběcích strojů – Část 2: Stanovení přesnosti a opakovatelnosti nastavení polohy v číslicově řízených osách.
2. Burkovič, J.: Spolehlivost, diagnostika, jakost. ES VŠB-TU, Ostrava 2001, ISBN 80-7078-838-9.
3. ČSN 20 0300:1994 část 9. Měření geometrické přesnosti obráběcích strojů.
4. OMRON: Company literature.
5. VAPOS: Company literature.
6. Zelko J. a spol.: Meranie v strojárstve, Alfa Bratislava 1973.
7. <http://www.haascnc.com>.
8. <http://www.tsudakoma.co.jp>.
9. <http://www.nikken-world.com>.

УДК (07)621.7,621.8

Петер Тулея

## МЕТОДИКА ВИМІРЮВАННЯ І ПАРАМЕТРИЧНІ ВИПРОБУВАННЯ ПОВОРОТНОГО ПОЗИЦІЙНОГО СТОЛУ

**Актуальність теми дослідження.** Використання позиційних столів в якості периферійних пристроїв для виробничих або роботизованих технологій є нагальною потребою для сучасних автоматизованих операцій. Оскільки їх завдання полягає в розширенні можливостей користувача на робочому місці, спосіб їх проектування та управління а також, що не менш важливо, технічні параметри повинні відповідати рівню верстатів і роботів.

**Постановка проблеми.** Метою даної роботи було наблизити в реальному випадку методичний підхід до визначення основних параметрів обертових позиційних вузлів, призначених для виробничих та роботизованих технологій. Випробування, проведені на реальному представнику, дали відповідь на питання про застосовність обраної методології для вимірювання вибраних параметрів поворотного одновісного позиційного столу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження в цій галузі полягали в розробці методологічної бази для отримання відповідних даних, корисних для оцінки технічного рівня досліджуваного прототипа.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У статті та в основному при виконанні випробувань на модулі VAPOS не вдалося виконати повні параметричні випробування для деяких задач, пов'язаних з технічним дизайном зразка (прототипу), тому запропонована методологія вимірювання була скоріше зосереджена на питанні складання та обґрунтування використання деяких елементів конструкції столу.

**Постановка завдання.** Метою проекту та статті було перевірити обґрунтованість використовуваної методології та перевірити відповідність типу редуктора, що використовується у такій техніці.

**Виклад основного матеріалу.** Основними матеріалами для створення статті були оброблені дані з вибіркового вимірювань у нашому відділі. Деякі дані, що містяться в протоколі вимірювання, було важко розкрити, оскільки це ноу-хау відділу та спонсора.

**Висновки відповідно до статті.** Висновки з цієї статті та проекту показують придатність обраної методології, а результати вимірювань відповідно до цієї методології використовувались для подальшого вдосконалення конструкції поворотного столу у виробника та при розробці нових типів редукторів їх постачальником.

**Ключові слова:** методика; поворотний стіл; точність; індексація; параметричне випробування.

Рис.: 13. Табл.: 1. Бібл.: 9.

**Tuleja Peter** – Eng., PhD, Assistant Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics (Komenskeho Park 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Петер Тулея** – помічник професора, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Komenskeho Park 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** peter.tuleja@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 55570858300

УДК 621.914.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-74-84

Володимир Винник

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОБРОБКИ КРИВОЛІНІЙНИХ ПОВЕРХОНЬ КУЛАЧКІВ РОЗПОДІЛЬНИХ ВАЛІВ ОРІЄНТОВАНИМ ІНСТРУМЕНТОМ

**Актуальність теми дослідження.** В умовах високої конкуренції в машинобудуванні виробництво стає більш наукоємним. Актуальним науково-практичним завданням у машинобудуванні, автомобілебудуванні та текстильній промисловості є забезпечення високої точності та продуктивності обробки кулачків розподільних валів та кулачків текстильних машин.

**Постановка проблеми.** Для забезпечення високої точності та продуктивності обробки криволінійних поверхонь кулачків необхідно застосовувати нові високоефективні способи обробки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто способи обробки деталей орієнтованими інструментами. Наведено тривимірне моделювання інструментальної поверхні, процесів зняття припуску та формоутворення при обробці криволінійних поверхонь кулачків.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність аналізу досліджень процесу обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів та кулачків текстильних машин.

**Постановка завдання.** Проаналізувати способи обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів і кулачків текстильних машин зі схрещеними осями інструмента та деталі.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто способи обробки криволінійних поверхонь деталей. Обробка криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів здійснюється за один або декілька проходів фрезою або шліфувальним кругом. Найбільш ефективними способами обробки кулачків розподільних валів є шліфування та фрезерування орієнтованими інструментами за один установ.

**Висновки відповідно до статті.** У роботі проаналізовано способи шліфування та фрезерування деталей. Для забезпечення високої точності та продуктивності обробки запропоновано використовувати спосіб фрезерування криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів і текстильних машин на верстатах з ЧПК зі схрещеними осями фрези та деталі, де за один прохід відбувається чорнове й чистове фрезерування всіх кулачків.

**Ключові слова:** обробка; орієнтований інструмент; кулачок розподільного вала; кулачок текстильної машини; моделювання; формоутворення.

Рис.: 10. Бібл.: 16.

**Актуальність теми дослідження.** Різноманітні деталі, що виготовляють на машинобудівних, автомобілебудівних, текстильних та інших підприємствах, мають криволінійні робочі поверхні. До таких деталей відносяться, наприклад, кулачки розподільних валів. Забезпечення високої точності та якості криволінійних поверхонь складного профілю, а також їх продуктивності обробки є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** При забезпеченні високих вимог до точності розмірів та якості поверхневого шару відповідальних криволінійних поверхонь деталей необхідно звертати особливу увагу на їх фінішну обробку. Аналіз відомих методів обробки криволінійних поверхонь розподільних валів сприятиме розробці нових високоефективних способів обробки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес обробки криволінійних поверхонь деталей досліджували В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. І. Грабченко, Ервін Юнкер, Георг Химмельсбах та інші.

У роботах [1; 2] розглянуто спосіб шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі, а також тривимірне моделювання обробки та формоутворення поверхонь деталей із профілем у вигляді дуги кола.

У роботі [3] наведено спеціалізоване шліфувальне обладнання для обробки кулачків розподільних валів.

Модульне тривимірне моделювання процесу обробки криволінійних поверхонь деталей наведено в роботі [4].

У патенті [5] наведено спосіб шліфування кулачків розподільного вала, що мають увігнуті бічні сторони. У цьому способі шліфування профілю кулачка обробка здійснюється трьома шліфувальними кругами.

Ервін Юнкер та Георг Химмельсбах розробили спосіб шліфування кулачків розподільного вала [6], в якому шліфування профілю кулачка здійснюється двома шліфувальними кругами.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У патенті [7] М. В. Сурди, Е. В. Подольського, А. О. Тареліна, О. Ф. Горбачова розглядається спосіб одночасного шліфування кулачків розподільних валів.

У роботах [8-11] описані шліфувальні верстати для обробки ступінчастих, колінчастих, розподільних валів та сам процес обробки цих деталей. Шліфування всіх поверхонь деталей здійснюється орієнтованим інструментом за один установ.

У статті [12] та патенті [13] описано спосіб шліфування розподільних валів за один установ орієнтованим інструментом. Наведено тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення кулачків розподільних валів.

У роботі [14] досліджено процес фрезерування ступінчастого вала орієнтованою фрезою, розроблено новий спосіб фрезерування циліндричної поверхні вала, де чорнова обробка здійснюється торцевою поверхнею фрези та периферією зуба, а чистове фрезерування – периферією.

У статтях [15; 16] описано способи фрезерування кулачків розподільних валів за один установ орієнтованим інструментом, наведено тривимірне геометричне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення поверхонь кулачків.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутній аналіз методів обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є аналіз методів обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів, що дозволить визначити найбільш оптимальний.

**Виклад основного матеріалу.** У роботах [1; 2] розглянуто спосіб шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі. Обробка поверхонь деталей, що мають криволінійний профіль, здійснюється орієнтованим шліфувальним кругом. Також розроблено тривимірне моделювання обробки та формоутворення поверхонь деталей із профілем у вигляді дуги кола.

На заводі ПАТ «Харверст» [3] виготовляють спеціальні круглошліфувальні верстати (рис. 1, а) для обробки кулачків розподільних валів. Ці верстати призначені для послідовного врізного шліфування за напівавтоматичним циклом (рис. 1, б) в умовах одиничного, серійного та масового виробництва.

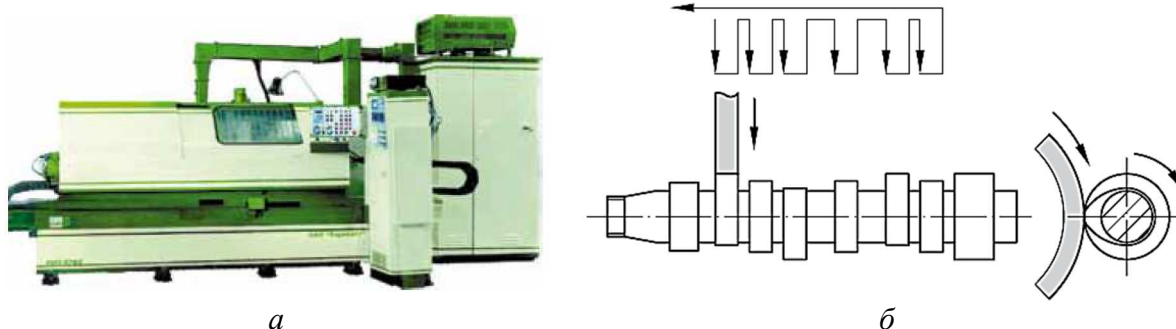


Рис. 1. Спеціальний круглошліфувальний верстат (а) та напівавтоматичний цикл обробки (б) кулачків розподільного вала

У роботі [4] запропоновано модульне тривимірне моделювання інструментів, деталей та процесу обробки криволінійних поверхонь деталей. Підвищення ефективності забезпечується за рахунок схрещування осей інструмента й деталі.

У патенті [5] Ервіна Юнкера розглядається спосіб шліфування кулачків розподільного вала, які мають увігнуті бічні сторони. Обробка профілю кулачка здійснюється трьома шліфувальними кругами.

На рис. 2, а зображена перша операція, де перший шліфувальний круг 7 обробляє вихідний 3 та проміжний 4 контури кулачка 1. Перший шліфувальний круг має порівняно великий діаметр, наприклад 400 мм, внаслідок чого не можна обробити

увігнуті бічні сторони кулачка. Для чистового шліфування (рис. 2, б) застосовується другий шліфувальний круг 9 меншого діаметра.

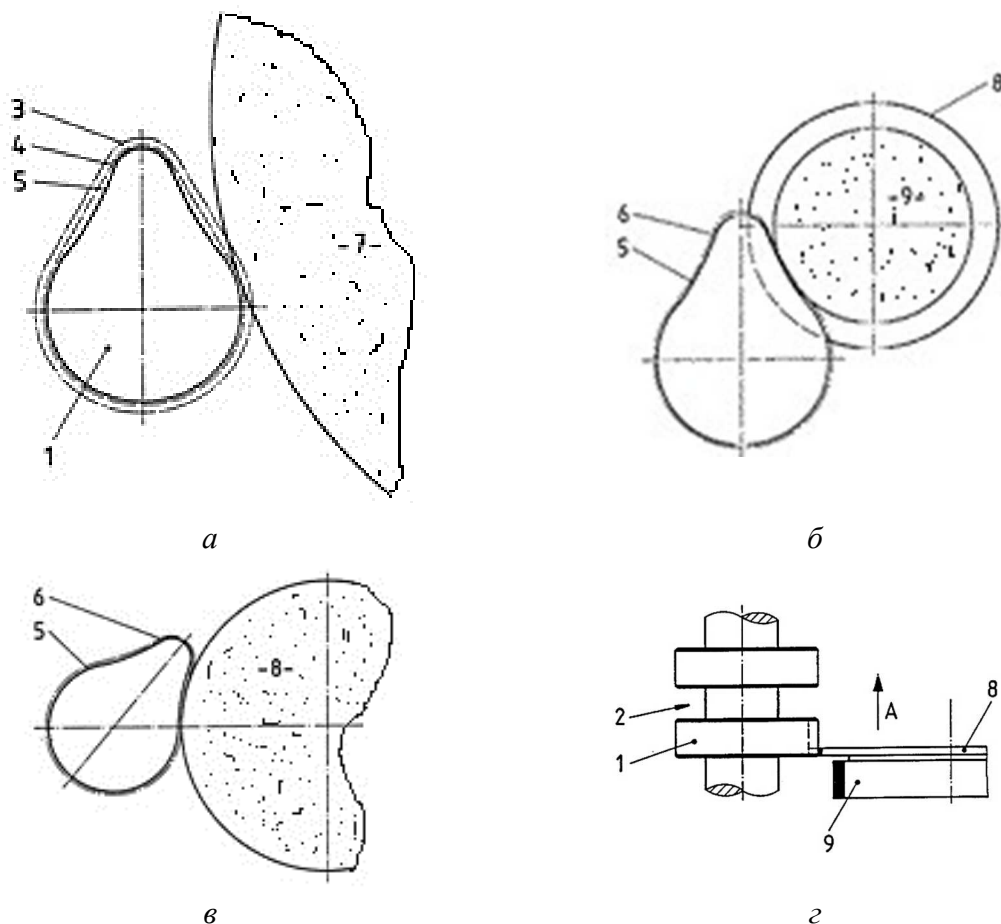


Рис. 2. Схема обробки кулачка розподільного вала з увігнутими боковими поверхнями: а – вихідного 3 та проміжного 4 контуру кулачка; б – чистового шліфування кулачка; в, г – увігнутих бічних поверхонь на проміжному контурі кулачка; 1 – кулачок; 2 – розподільний вал; 3, 4, 6 – вихідний та проміжні контури кулачка; 5 – кінцевий контур кулачка; 7, 8, 9 – шліфувальні круги для чорнового та чистового шліфування

Шліфування увігнутих бічних поверхонь на проміжному контурі кулачка зображено на рис. 2, в, г. Увігнуті бічні поверхні обробляються третім шліфувальним кругом 8 (рис. 2, в), діаметр якого відповідає увігнутості профілю проміжного контуру 6. Висота шліфувального круга 8 (рис. 2, г) менша за довжину кулачка, тому шліфування проміжного контуру 6 здійснюється таким чином, що при радіально нерухомому кулачку 1 контур шліфується з поздовжньою подачею в напрямку, показаному стрілкою А.

У патенті [6] Ервіна Юнкера та Георга Хіммельсбаха також розглядається спосіб шліфування кулачків розподільного вала. Обробка профілю кулачка здійснюється двома шліфувальними кругами для чорнового та чистового шліфування.

Висота чорнового шліфувального круга 1 (рис. 3, а) більша, ніж довжина кулачка 2. Інструмент має дві кільцеві канавки 3, які розширюються всередину, тому між бортами канавки 3 і ребрами 4, що залишаються при шліфуванні, є вільний простір, в який подається охолоджувальна рідина. Абразивний шар 5 переривається канавками 3. З рис. 3, г видно, що за рахунок канавок шліфувального круга обробляється лише частина профілю кулачка. Це зменшує температуру в зоні обробки та дає можливість подачі МОТС. Після чого відбувається чистова обробка шліфувальним кругом 9.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Під час обробки кулачка 2 шліфуються також його ліва (рис. 3, б) та права (рис. 3, в) фаски б. Для цього чорновий шліфувальний круг 1 має кромки 7 та 8, які виступають та в перерізі мають трикутну форму, а їх нахил відповідає необхідному профілю фасок б.

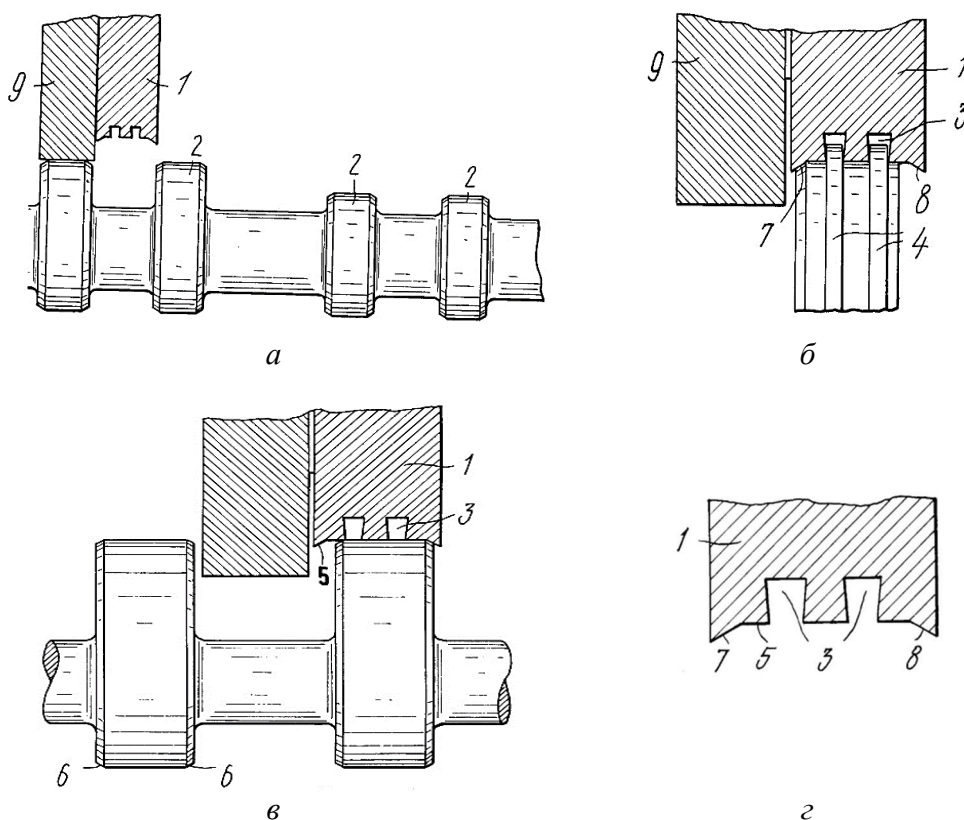


Рис. 3. Схема обробки кулачків розподільного вала двома шліфувальними кругами:

а – схема обробки кулачка, б, в – обробка кулачка чорновим шліфувальним кругом, г – переріз робочої поверхні чорнового шліфувального круга, д – перехід від чорнового шліфування до чистового; 1 – чорновий шліфувальний круг; 2 – кулачок; 3 – кільцеві канавки; 4 – ребра; 5 – абразивний шар; 6 – фаски; 7, 8 – кромки; 9 – чистовий шліфувальний круг

У патенті [7] М. В. Сурди, Е. В. Подольського, А. О. Тареліна, О. Ф. Горбачова розглядається спосіб шліфування одразу декількох кулачків розподільних валів.

Пристрій для реалізації запропонованого способу обробки криволінійних поверхонь виробів складається з абразивного інструмента 1 (рис. 4, а), встановленого на станині з можливістю подачі його на врізання у виріб 2, який закріплений на шпинделі планетарного пристрою, змонтованого на рухомій каретці 4. Каретка 4 встановлена на поворотному барабані 5 з можливістю переміщення в площині, перпендикулярній до осі переміщення виробу 2 за круговою траєкторії притисненого пружиною 6 кулачка 7, зв'язаного за допомогою ролика 8 з кареткою 4 завдяки пружині 9. Кулачок 7 встановлено на поворотному барабані 5 з можливістю зворотно-поступального переміщення в напрямку осі О-О, наприклад, за допомогою силового гідроциліндра через штовхач 10. Поворотний барабан 5 встановлений на шпинделі 11 передньої бабки круглошліфувального верстата, і кінематично пов'язаний із приводом обертання (на схемі не показаний) за допомогою повідка 12. Обертання виробу 2 навколо планетарної осі забезпечується приводом 13, робота якого синхронізується з роботою привода обертання поворотного барабана 5.

Заготовки кулачкових валів 2 закріплюються в кожному шпинделі 3 та рівномірно розподілені по периметру поворотного барабана 5 планетарного пристрою. Заготовки закріплюються в певному вихідному кутовому положенні так, що при контакті з абразивним інструментом 1 відбувається обробка ідентичних ділянок кожного виробу.

Після закріплення виробів поворотний барабан 5 обертається, а вироби 2 нерухомі або обертаються з кутовою швидкістю, кратною кутовій швидкості кругового обертання поворотного барабана 5. У цей момент відбувається подача інструмента 1 на врізання і здійснюється врізання на всю величину припуску, що знімається.

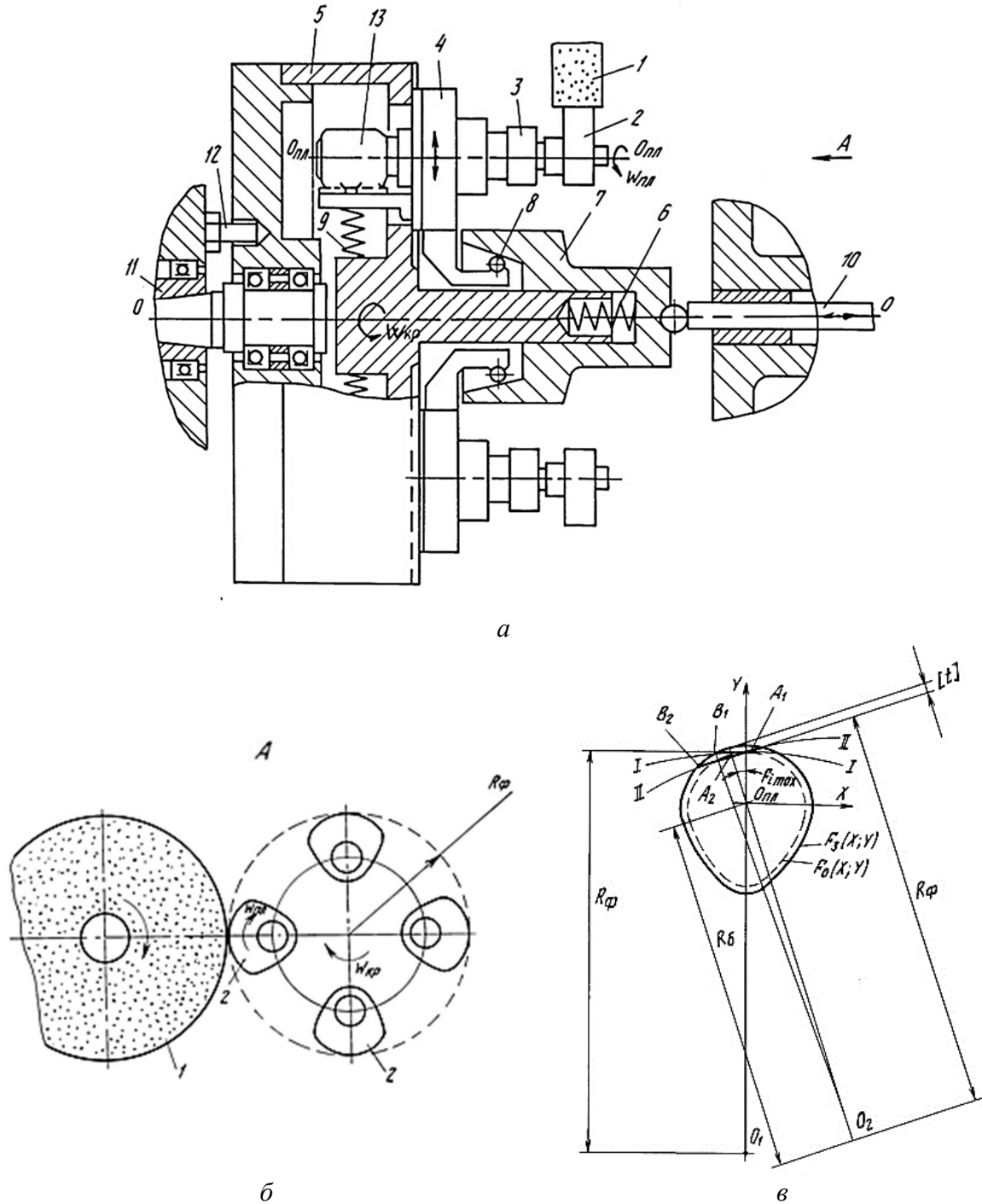


Рис. 4. Схема обробки кулачків розподільних валів:

а – схема пристрою для реалізації даного способу, б – вид А, в – умовна схема для розрахунку значення кута повороту виробу навколо планетарної осі за час одного повороту навколо осі переміщення виробу по круговій траєкторії; 1 – абразивний інструмент; 2 – оброблювані деталі; 3 – шпиндель; 4 – каретка; 5 – поворотний барабан; 6 – пружина; 7 – кулачок; 8 – ролик; 9 – пружина; 10 – штовхач; 11 – шпиндель; 12 – повідок; 13 – привод

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У роботах [8-11] описані розроблені фірмою Junker верстати для обробки ступінчастих, колінчастих, розподільних валів та сам процес шліфування цих деталей. Обробка всіх поверхонь деталей здійснюється орієнтованим інструментом за один установ. При обробці кулачків (рис. 5) шліфувальний круг здійснює зворотно-поступальний рух в площині, яка проходить через вісь обертання розподільного вала та інструмента.

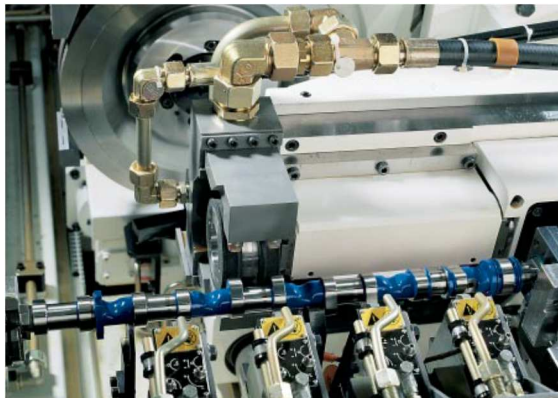


Рис. 5. Шліфування кулачків розподільного вала на верстаті фірми Junker

У статті [12] та патенті [13] описано спосіб шліфування розподільних валів за один установ орієнтованим інструментом, наведено тривимірне геометричне моделювання інструментів, процесів зняття припуску та формоутворення кулачків розподільних валів.

На рис. 6 наведена схема способу глибинного шліфування розподільного вала 1 орієнтованим інструментом 2. Чорновий припуск знімається торцем круга за рахунок позовдовжнього переміщення, а чистове шліфування кулачків виконується його периферією.

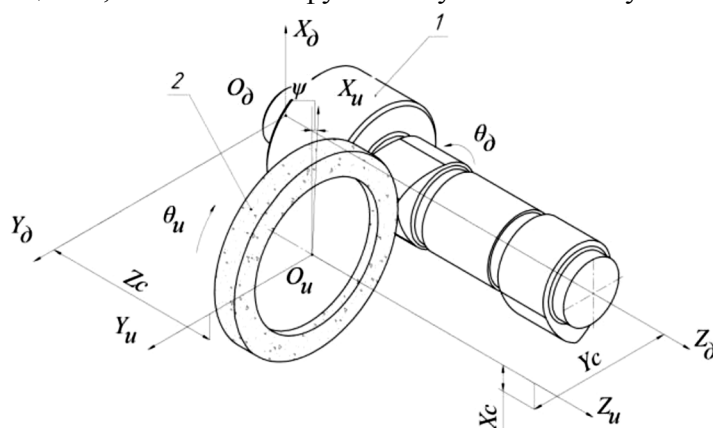


Рис. 6. Розрахункова схема шліфування розподільного вала:  
1 – розподільний вал, 2 – шліфувальний круг

При обертанні розподільного вала на кут  $\psi$  точка контакту круга з деталлю переміщується, за рахунок синхронних вертикального і поперечного рухів інструмента вона завжди знаходиться в горизонтальній площині, яка проходить через вісь обертання круга та центр кривизни деталі. Це забезпечує постійну глибину різання вздовж контуру. Нерівномірне обертання стабілізує подачу вздовж контуру в порівнянні з методом обробки з рівномірним обертанням розподільного вала.

Дослідження процесу фрезерування ступінчастого вала орієнтованою фрезою наведено в роботі [14]. Розроблено новий спосіб фрезерування циліндричної поверхні вала, де чорнова обробка здійснюється торцевою поверхнею фрези та периферією зуба, а чистове фрезерування – периферією. Проведено тривимірне моделювання інструмента, процесів зняття припуску та формоутворення. На основі аналізу розроблених моделей досліджено основні характеристики процесу обробки орієнтованою фрезою.

У статті [15] описано спосіб чистового фрезерування кулачків розподільних валів за один установ орієнтованим інструментом, наведено тривимірне геометричне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення кулачків розподільних валів.

На рис. 7, а наведена схема обробки розподільного вала 2 повернутою на кут  $\beta$  фрезою 1, переріз А-А зображено на рис. 7, б. При чистовій обробці зрізання всього припуску  $t$  відбувається периферією фрези. Для забезпечення роботи всієї периферії фрези вісь її повороту знаходиться в точці А.

Постійна глибина різання та подача вздовж контуру забезпечуються за рахунок синхронних вертикального і поперечного рухів інструмента та нерівномірного обертання кулачка.

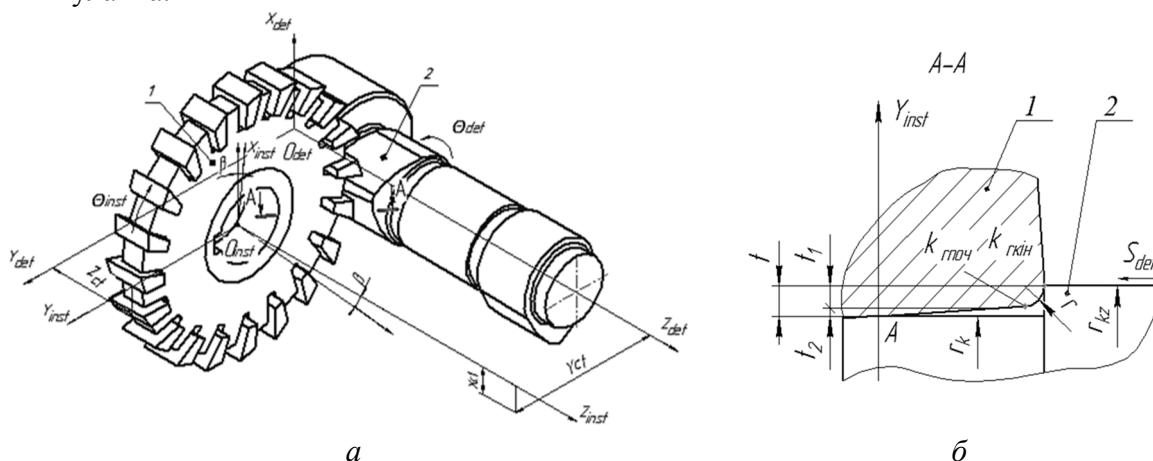


Рис. 7. Схема фрезерування кулачка розподільного вала зі схрещеними осями інструмента та деталі: 1 – фреза; 2 – розподільний вал

У статті [16] описано спосіб фрезерування кулачків розподільних валів, де чорнова та чистова обробка відбуваються за один установ орієнтованим інструментом. Наведено тривимірне геометричне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення кулачків розподільних валів.

Розрахункова схема обробки аналогічна описана в статті [15]. Осьовий переріз при обробці кулачків розподільних валів, де чорнове та чистове фрезерування здійснюється за один установ, зображений на рис. 8. Чорновий припуск зрізується торцевою поверхнею фрези та периферією зуба, а чистова обробка здійснюється периферією. При цьому вісь повороту інструмента знаходиться в точці А для забезпечення роботи всієї периферії.

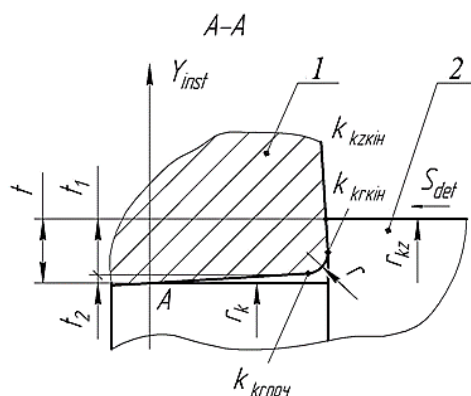


Рис. 8. Розріз А-А зуба фрези при обробці кулачка розподільного вала зі схрещеними осями інструмента та деталі: 1 – фреза; 2 – розподільний вал



При повороті розподільного вала 2 на кут  $\Theta_{det}$  (рис. 9, а, б) точка контакту 3 інструмента 1 з кулачком розподільного вала 2 переміщується за рахунок синхронних поперечного і вертикального рухів фрези  $S_{inst}$ . Точка контакту завжди знаходиться в горизонтальній площині, яка проходить через вісь обертання фрези та центр кривизни дуги кулачка. Кулачок обертається зі змінною швидкістю, що забезпечує постійну глибину різання та подачу вздовж контуру.

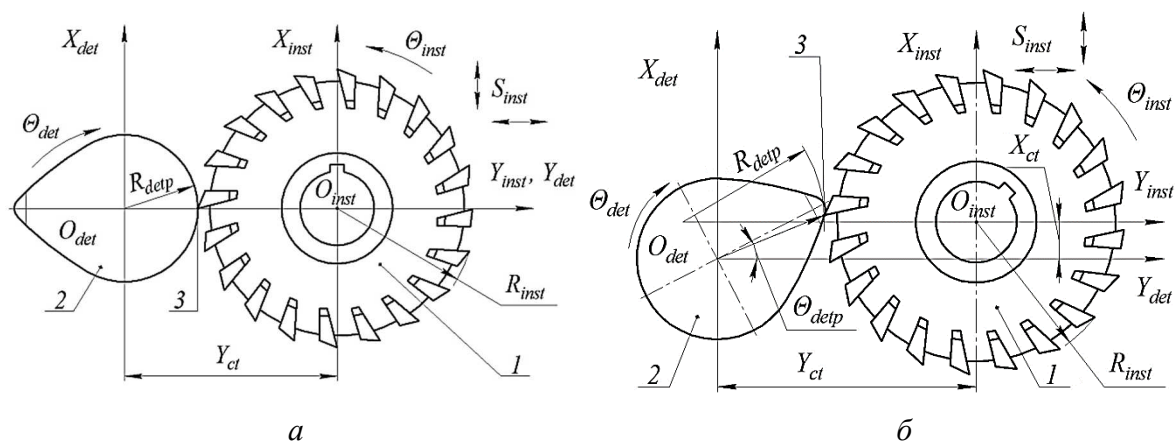


Рис. 9. Схема обробки кулачка:

1 – фреза; 2 – розподільний вал; 3 – точка контакту інструмента з кулачком розподільного вала  
Тривимірна модель кулачка розподільного вала зображена на рис. 10.

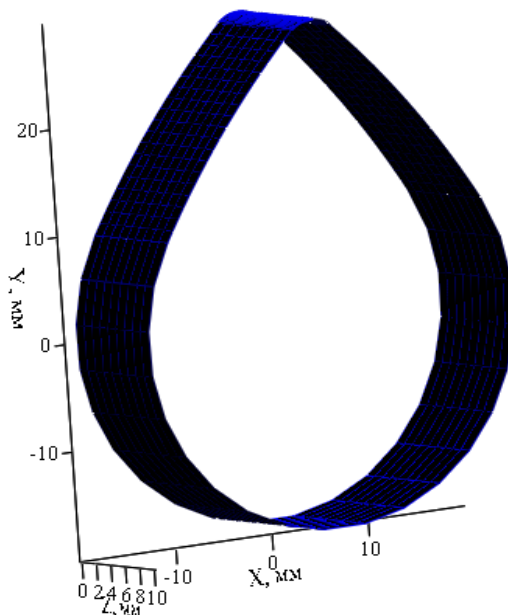


Рис. 10. 3D-модель поверхні кулачка розподільного вала

**Висновки відповідно до статті.** Розподільні вали двигунів, машин і механізмів є досить поширеними деталями, які мають високі вимоги до точності та якості поверхонь. У роботі розглянуто різноманітні способи обробки таких деталей.

Аналіз літературних джерел показав, що продуктивними способами обробки криволінійних поверхонь деталей є шліфування та фрезерування. Для забезпечення високої точності та продуктивності обробки криволінійних поверхонь кулачків розподільних валів доцільно використовувати фрезерування на верстатах з ЧПК зі схрещеними осями фрези та деталі, де за один прохід здійснюється чорнова та чистова обробка всіх кулачків.

**Список використаних джерел**

1. Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Boyko S. V., Sira N. M. Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta Mechanica et Automatica*. 2017. Vol. 11, No. 1 (39) P. 58–63. DOI: 10.1515/ama-2017-0009.
2. Kalchenko V. V., Yeroshenko A. M., Boyko S. V. Crossing axes of workpiece and tool at grinding of the circular trough with variable profile. *Acta Mechanica et Automatica*. 2018. Vol. 12, No. 4, P. 281–285. DOI 10.2478/ama-2018-0043.
3. Шлифовальные станки завод «Харверст». Харьковский станкостроительный завод «Харверст». Харьков, 20 с. URL: [www.harverst.com.ua](http://www.harverst.com.ua).
4. Грабченко А. И., Кальченко В. И., Кальченко В. В. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали: монография. Чернигов: ЧДТУ, 2009. 256 с.
5. Патент № 2138384 РФ, МПК В24В19/12. Способ шлифования кулачков с вогнутым профилем и устройство для его осуществления / Эрвин Юнкер (DE); заявл. 26.06.1995; опубл. 27.09.1999.
6. Патент № 2043906 РФ, МПК В24В19/12. Способ шлифования наружной поверхности цилиндрических заготовок и устройство для его осуществления / Эрвин Юнкер (DE), Георг Химмельсбах (DE); заявл. 31.01.1992; опубл. 20.09.1995.
7. Патент № 2080238 РФ, МПК В24В19/12. Способ обработки криволинейных поверхностей изделий / Сурду Н.В. (UA), Подольский Э.В. (UA), Тарелин А.А. (UA), Горбачев А.Ф. (UA); заявл. 05.10.1992, опубл. 27.05.1997.
8. Шлифование распределительных валов кругами из кубического нитрида бора. *Проспект фирмы «Junker maschinen» на станки «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany, 2006. 8 с. URL: [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
9. High-performance CBN Grinding. *Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCENTER 6L CRANK», «JUCENTER 6L CAM», «JUCENTER 6L SHAFT»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany, 2008. 8 p. URL: [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
10. CBN crankshaft grinding. *Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCRANK 1000», «JUCRANK 3000», «JUCRANK 5000», «JUCRANK 6S/L/XL»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany, 2012. 12 p. URL: [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
11. CAM GRINDING. *Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCAM 1S», «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6XS», «JUCAM 6S», «JUCAM 6L», «JUCAM 6XL»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany, 2017. 12 p. URL: [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
12. Кальченко В. І., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. Модульне 3D-моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при шліфуванні зі схрещеними осями розподільного вала і круг. *Резание и инструмент в технологических системах*. Харьков, 2015 Вып. 85. С. 98–106.
13. Пат. №105101 Україна, МПК В24В5/16. Спосіб шліфування опорних шийок та кулачків розподільного вала за один установ / Кальченко В. І., Кальченко Д. В., Следнікова О. С. заявник та патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. № 201506791; заявл. 09.07.2015; опубл. 10.03.2016. Бюл. № 5.
14. Кальченко В. В., Сіра Н. М., Кальченко Д. В., Аксьонова О. О. Дослідження процесу фрезерування циліндричних поверхонь зі схрещеними осями інструмента та вала. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2018. № 4 (14). С. 18–27.
15. Следнікова О. С., Винник В. О., Скляр В. М., Аксьонова О. О. Модульне 3D моделювання інструментів, процесу зняття припуску та формоутворення при фрезеруванні кулачків зі схрещеними осями інструмента та деталі. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2019. № 1 (15). С. 53–62.
16. Следнікова О. С., Винник В. О., Скляр В. М., Аксьонова О. О. Модульне тривимірне моделювання процесів зняття припуску та формоутворення при фрезеруванні кулачків орієнтованим інструментом. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2019. № 2 (16). С. 34-43.

## References

1. 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 [in English].
2. Kalchenko, V. V., Yeroshenko, A. M., Boyko, S.V. (2018). Crossing axes of workpiece and tool at grinding of the circular trough with variable profile. *Acta Mechanica et Automatica*, 12 (4), 281–285 [in English].
3. *Shlifovalnye stanki zavod «Kharverst» [Grinding machines Plant Harverst]*. Kharkiv. Retrieved from [www.harverst.com.ua](http://www.harverst.com.ua).
4. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I. & Kalchenko, V. V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivayushhimisya osyami instrumenta i detail [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]*. Chernigov: ChDTU [in Russian].
5. Erwin Junker (DE) (1999). Sposob shlifovaniia kulachkov s vognutym profilem i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia [A method of grinding cams with a concave profile and a device for its implementation]. Patent № 2138384 RF, MPK B24B19/12 [in Russian].
6. Erwin Junker (DE), Georg Himmelsbach (DE) (1995). Sposob shlifovaniia naruzhnoi poverkhnosti teilyndricheskikh zagotovok i ustroistvo dlia ego osushchestvleniia [A method of grinding the outer surface of cylindrical workpieces and a device for its implementation]. Patent № 2043906 RF, MPK B24B19/12 [in Russian].
7. Surdu N.V. (UA), Podolsky E.V. (UA), Tarelin A.A. (UA), Gorbachev A.F. (UA) (1997). Sposob obrabotki krivolineinykh poverkhnostei izdelii [The method of processing curved surfaces of products]. Patent № 2080238 RF, MPK B24B19/12 [in Russian].
8. Shlifovanie raspredelitelnykh valov krugami iz kubicheskogo nitrida bora [Grinding camshafts with cubic boron nitride circles] (2006). *Prospekt firmy «Junker maschinen» na stanki «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000» – Prospectus of the company «Junker maschinen» on machine tools «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6000»*. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany [in Russian]. URL: [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
9. High-performance CBN Grinding (2008). Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCENTER 6L CRANK», «JUCENTER 6L CAM», «JUCENTER 6L SHAFT». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany [in English]. Retrieved from [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
10. CBN crankshaft grinding (2012). Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCRANK 1000», «JUCRANK 3000», «JUCRANK 5000», «JUCRANK 6S/L/XL». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany [in German]. URL: [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
11. CAM GRINDING (2017). Prospect firm «Junker maschinen» on machines «JUCAM 1S», «JUCAM 1000», «JUCAM 3000», «JUCAM 5000», «JUCAM 6XS», «JUCAM 6S», «JUCAM 6L», «JUCAM 6XL». Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. 77787 Nordrash. Germany. [in German]. Retrieved from [www.junker-group.com](http://www.junker-group.com).
12. Kalchenko, V. I., Kalchenko, D. V., Sliednikova, O. S (2015). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryusku ta formoutvorennia pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy rozpodilchoho vala i kruha [Modular 3D-modeling tools, process and removal allowance forming in grinding with crossed axes and circular distribution shaft]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh – Cutting & tool in technological system*, 85, 98-106 [in Ukrainian].
13. Kalchenko, V.I., Kalchenko, D.V., Sliednikova, O.S. (2016). Sposib shlifuvannia opornykh shyiok ta kulachkiv rozpodilchoho vala za odyin ustanov [The method of grinding the camshafts and camshafts for one establishment]. Patent № 105101. UA, MPK B24B5/16 [in Ukrainian].
14. Kalchenko, V. V., Sira N. M. & Kalchenko, D. V. (2018). Doslidzhennia protsesu frezeruvannia tsylindrychnykh poverkhon zi skhreshchenymy osiamy instrumenta ta vala [Investigation of the milling cylindrical surfaces process with tool and shaft crossed axes]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 4 (14), 18–17 [in Ukrainian].
15. Sliednikova, O. S, Vynnyk, V. O. & Sklyar V. M. (2019). Modulne 3D-modeliuvannia instrumentiv, protsesu zniattia pryusku ta formoutvorennia pry frezeruvanni kulachkiv zi skhreshchenymy

osiamy instrumenta ta detali [Modular 3D modeling of tools, process of adaptation removal and forming at milling the cams with crossing tools and details]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 1 (15), 53-62 [in Ukrainian].

16. Sliednikova, O.S, Vynnyk, V.O. & Sklyar V.M. (2019). Modulne tryvymirne modeliuвання protsesiv zniattia pryusku ta formoutvorennia pry frezeruvanni kulachkiv oriientovanyim instrumentom [Modular three-dimensional modeling of the process of removal of the allowance and formation during the milling of cams oriented tool] *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 2 (16), 34-43 [in Ukrainian].

UDC 621.914.1

*Volodymyr Vynnyk*

## ANALYSIS OF METHODS OF PROCESSING CURVINAL SURFACES OF CAMSHAFTS WITH DISTRIBUTED SHAFT ORIENTED TOOLS

**Urgency of the research.** *In conditions of high competition in mechanical engineering, production becomes more knowledge-intensive. An urgent scientific and practical task in the engineering, automotive and textile industries is to ensure the high precision and productivity of machining camshaft cam and cam machine cam.*

**Target setting.** *New high-efficiency machining techniques must be used to ensure the high accuracy and performance of curved cam surfaces.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Methods of machining parts by tool oriented are discussed. The three-dimensional modeling of the tool surface, the processes of removal of the allowance and the formation during the processing of curved surfaces of the cams are presented.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Lack of analysis of studies of the process of processing curvilinear surfaces of camshaft cam and cam textile machines.*

**The research objective.** *Analyze ways of machining curved surfaces of camshaft cam and textile machine cam with crossed tool axes and parts.*

**The statement of basic materials.** *Methods of processing curved surfaces of parts are considered. The curvature of the camshaft cam surfaces are machined in one or more passes with a milling cutter or grinding wheel. The most effective ways of machining camshafts are grinding and milling oriented tools in one go.*

**Conclusions.** *The methods of grinding and milling of parts are analyzed in the work. To ensure high accuracy and processing efficiency, it is suggested to use a method of milling curvilinear surfaces of camshafts and textile machines on CNC machines with crossed axes of milling cutters and parts where rough and milling of all cams occurs in one pass.*

**Keywords:** *processing; oriented tool; camshaft cam; cam textile machine; modeling; shaping.*

**Fig.:** 10. **References:** 16.

**Винник Володимир Олександрович** – аспірант Чернігівського національного технологічного університету (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Vynnyk Volodymyr** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** [vovavynnyk7@gmail.com](mailto:vovavynnyk7@gmail.com)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4179-5765>

**ResearcherID:** F-8938-2016

## РОЗДІЛ II. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056.57

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-85-91

Володимир Казимир, Ігор Карпачев, Владислав Сіпаков

### ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ API-ВИКЛИКІВ ОС ANDROID

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні набуло значного поширення використання користувачами мобільних пристроїв та додатків з метою зберігання приватної та конфіденційної інформації. Поряд з цим, існують методи та шляхи поширення шкідливого програмного забезпечення (ПЗ) в операційній системі (ОС) Android. Для ефективної боротьби з ними постає необхідність розробки нових покращених підходів до виявлення шкідливого ПЗ в ОС Android. У статті розглянуто новий метод динамічного аналізу додатків, який дозволить покращити існуючу систему безпеки.

**Постановка проблеми.** У галузі забезпечення ефективної та безпечної роботи мобільних пристроїв функціональна та інформаційна безпека розглядаються як дві фундаментальні складові, що взаємодоповнюють одна одну. Одним із найефективніших способів отримання зловмисником доступу до конфіденційної інформації є використання ОС Android. Одним із засобів підвищення надійності роботи є розробка моделей безперервного динамічного захисту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто останні публікації у відкритому доступі, включаючи дані Google Malware Project, PScout Android Permissions Mappings та Aplorer Permissions Mappings та роботу Android Malware Detection Using Permission Analysis.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка та математичне обґрунтування моделей безперервного аналізу API-викликів в ОС Android.

**Постановка завдання.** Запропонувати базову модель захисту ОС Android, що ґрунтується на аналізі послідовностей API-викликів.

**Виклад основного матеріалу.** У статті наведено метод отримання та аналіз послідовностей API-викликів ОС Android за допомогою інструментарію Frida. Також наведено найбільш репрезентативні результати тестування запропонованого методу.

**Висновки відповідно до статті.** Запропоновано метод динамічного аналізу шкідливого ПЗ з використанням інструментарію для реверс-інжинірингу Android та IOS додатків – Frida. Запропонований метод динамічного аналізу API-викликів можна використовувати для покращення існуючих систем аналізу APK, а метод дослідження вірусних послідовностей можна поширити для всіх характерних вірусних груп.

**Ключові слова:** безпека; безпека Android; API-виклики; зловмисне ПЗ; динамічний аналіз; дозволи; Frida.

Рис.: 5. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** Використання користувачами мобільних пристроїв та додатків з метою зберігання приватної та конфіденційної інформації на сьогодні набуло значного поширення. Поряд з цим існують методи та шляхи поширення шкідливого програмного забезпечення в ОС Android.

Завдяки зростаючій популярності Android за останні кілька років зловмисне програмне забезпечення, спрямоване на платформу, значно зросло. Згідно з останнім звітом McAfee [8], щороку з'являється близько 2,5 млн нових зразків шкідливих програм Android, таким чином збільшуючи загальну кількість зразків шкідливих програм до 12 млн.

Зловмисне програмне забезпечення для Android можна знайти в різних додатках, таких як ігрові програми, банківські програми, додатки соціальних медіа, освітні програми та додаткові програми. Програми, заражені зловмисним програмним забезпеченням, можуть мати доступ до конфіденційної інформації, надсилати текстові повідомлення до VIP номерів без погодження з користувачем або навіть встановлювати руткіт на пристрій, що дозволяє завантажувати та виконувати будь-який код, який розробник зловмисного програмного забезпечення хоче розгорнути, тощо.

Для ефективної боротьби зі зловмисним програмним забезпеченням постає необхідність розробки нових покращених підходів до виявлення шкідливого ПЗ в ОС Android. У статті розглянуто новий метод динамічного аналізу додатків на предмет виявлення шкідливого програмного забезпечення, який дозволить покращити існуючу систему безпеки.

**Постановка проблеми.** Проблеми статичного аналізу програмного забезпечення ОС Android пов'язані з недосконалістю багатьох факторів виявлення зловмисного ПЗ. Ключовою проблемою статичного аналізу дозволів оснований на стандартному методі

LSI, який було запропоновано в роботі Android Malware Detection Using Permission Analysis [6], є неможливість виявлення небезпечних частин коду apk.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** У роботі Android Malware Detection Using Permission Analysis [6], що ґрунтується на стандартному методі LSI, використовується статичний аналіз ПЗ. Замість статичного аналізу пропонується зробити динамічний аналіз послідовностей викликів. Динамічний аналіз роботи мобільних додатків обов'язково включає у себе блок забезпечення функціональної безпеки, що здійснює моніторинг потенційно небезпечних послідовностей та ідентифікує відповідні події, які можуть призвести до втрати даних, доступу до конфіденційних даних сторонніх осіб або блокування сторонніми особами належного доступу. На базовому етапі отримання послідовностей API-викликів «Android Permission» [7], є визначення API-викликів, що застосовує програму на основі мапінгів та подальше отримання послідовностей API-викликів на основі інструментарію Frida [3].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка та математичне обґрунтування моделей безперервного аналізу API-викликів в ОС Android.

**Постановка завдання.** Мета статті полягає в описі нового методу динамічного аналізу послідовностей API-викликів ОС Android.

**Виклад основного матеріалу.**

**Метод динамічного аналізу.** Станом на 2019 рік, Google Android є лідером мобільних операційних систем, займаючи майже 80 % ринку. Понад 65 млрд завантажень було зроблено з офіційного магазину ігор Google [5], а нині існує понад 1 млрд пристроїв Android у всьому світі. За даними Statista [4], до 2021 року по всьому світу буде доставлено близько 1,5 млрд пристроїв Android.

Ця стаття має продовжити дослідження, розпочате в роботі [6]. Схема статичного пошуку API-викликів наведена на рис. 1.

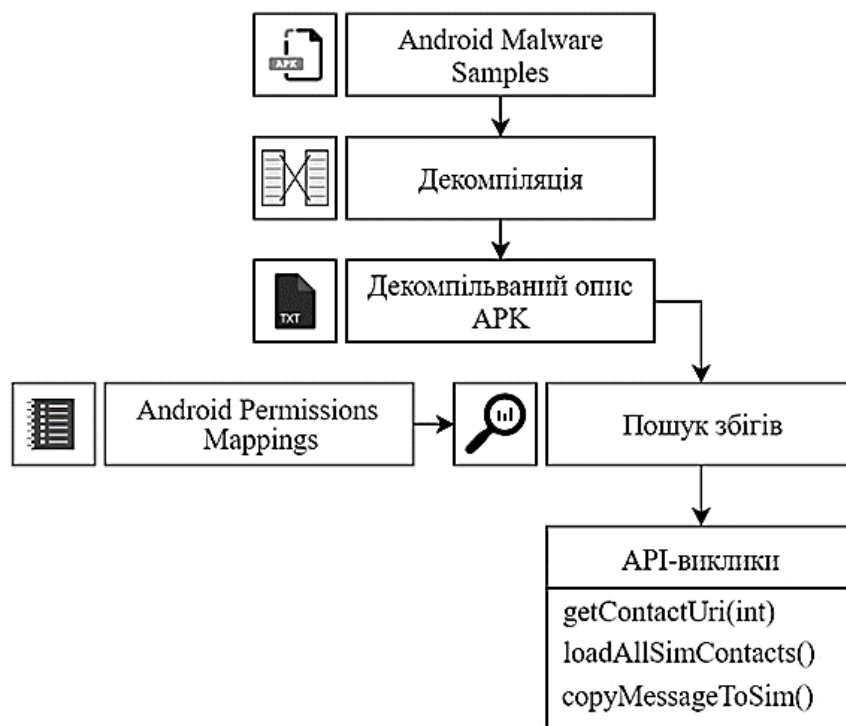


Рис. 1. Схема статичного пошуку API-викликів

Замість наявного підходу пропонується зробити динамічний аналіз послідовностей викликів, які використовують Android Permissions. Алгоритм динамічного аналізу

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

послідовностей API-викликів має стати підсистемою мережевого ресурсу, що розповсюджує додатки для мобільних пристроїв на основі ОС «Android».

Базова схема роботи аналізатора програмного додатка складається з таких пунктів:

- 1) статичний пошук API-викликів;
- 2) динамічне отримання послідовності за допомогою інструментарія Frida;
- 3) побудова графу поведінки;
- 4) глибинний аналіз субграфів;
- 5) стиснення графу;
- 6) отримання результатів ймовірності зловмисного ПЗ.

Для визначення API-викликів, що може застосовувати додаток, запропоновано зробити пошук на основі PScout Android Permissions Mappings та Axploreer Permissions Mappings.

Наприклад, для android.permission.READ\_CONTACTS існує 57 API-викликів, серед яких найбільш поширеними є:

- 1) android.net.Uri addToMyContactsGroup(android.content.ContentResolver,long);
- 2) android.net.Uri getContactUri(int);
- 3) android.net.Uri getUriToQuery();
- 4) android.database.Cursor loadAllSimContacts(int);
- 5) android.widget.QuickContactBadge:  
void assignContactFromEmail(java.lang.String,boolean,android.os.Bundle).

Схема запропонованого методу динамічного отримання послідовностей API-викликів наведена на рис. 2.

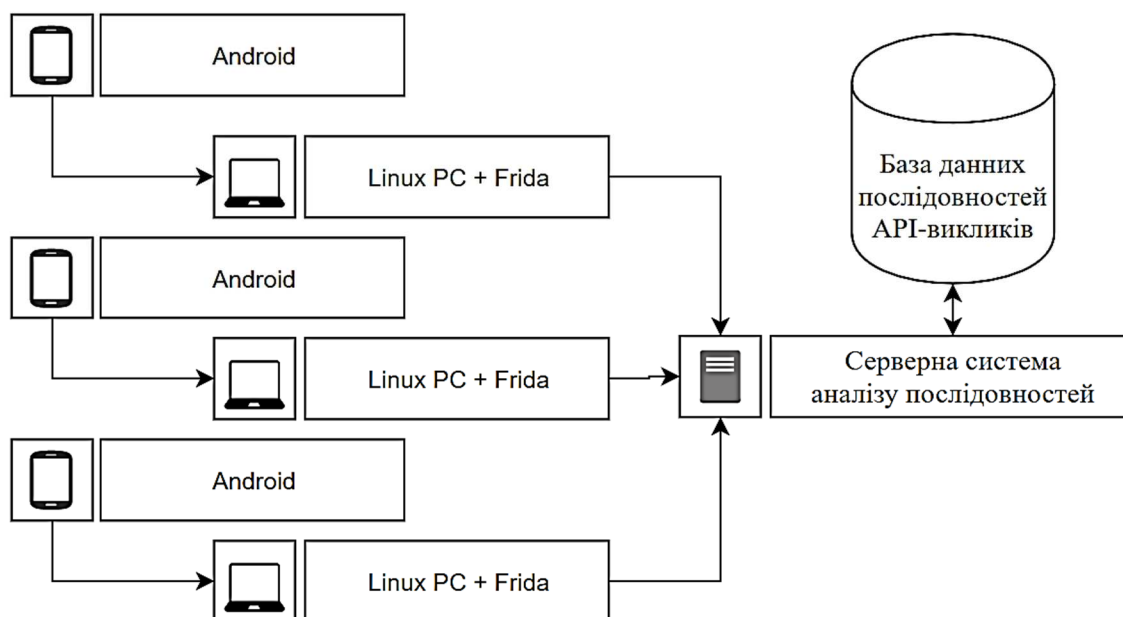


Рис. 2. Схема динамічного отримання послідовностей API-викликів

Для отримання послідовності API-викликів створено динамічний аналізатор на основі інструментарію Frida - Dynamic Instrumentation Toolkit for Developers, Reverse-engineers, and Security researchers, який дозволяє перехоплювати API-виклики та робити ін'єкції власного коду в працюючу APK. Отримана за допомогою динамічного аналізатора послідовність API-викликів, що включає передачу конфіденційних даних, наведена на рис. 3.

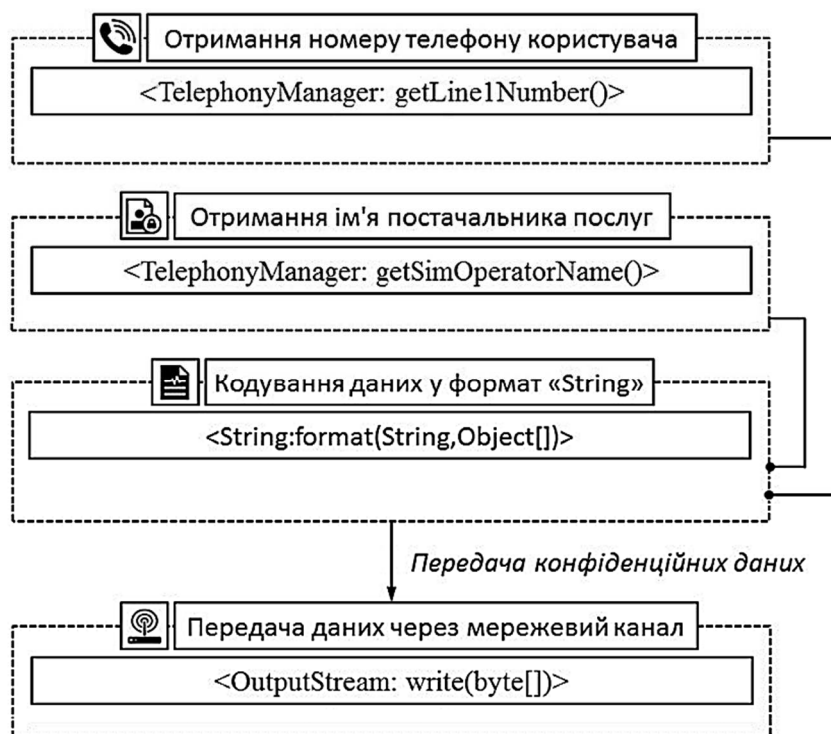


Рис. 3. Послідовності API-викликів, що включає передачу конфіденційних даних

Програмний код однієї з отриманих послідовностей включає у себе такі кроки, що базуються на основі типових API-викликів:

- отримання номера телефону користувача «getLine1Number ()»;
- отримання ім'я постачальника послуг «getSimOperatorName ()»;
- кодування даних у формат «String» (String, byte []);
- передача даних через мережевий канал «network (write(byte[]))».

Фіксуючи API-виклики з вірусних APK проекту Android Malware Genome project [7], була сформована база даних вірусних послідовностей API-викликів. Наведені характерні для permissions API-виклики взято з досліджень Android Permissions Mappings [9] та [2].

**Дослідження вірусних послідовностей.** Запропонована математична модель визначення ймовірності вірусної послідовності API-викликів базується на розділенні досліджуваного інтервалу часу на  $i$  інтервалів (де  $i \in [1; I]$ ), при цьому час, за який отримується послідовність визначається через змінну  $t_i \in [t_1; t_i]$ . У такому разі ймовірність виникнення вірусної послідовності з небезпечних додатків може бути визначена через рівняння:

$$P(t_i) = \frac{n_i}{N}, \quad (1)$$

де  $n_i$  – кількість вірусних послідовностей API-викликів, а  $N$  – повна кількість зафіксованих послідовностей API-викликів. Ці послідовності отримані з 246 APK проекту Android Malware Genome Project [7]

$$P(t_i) = \frac{21880}{32657} = 0,67, \quad (2)$$

Отримання вірусної послідовності в різні інтервали часу  $t$  – незалежні події, ймовірність отримання за кожен квант  $p = 0,67$ .



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Розрахуємо залежність знаходження ймовірності вірусної послідовності від її довжини. Для розподілу ймовірності отримання вірусної послідовності до першого точного збігу будемо використовувати геометричний закон розподілу.

$$P(X = k) = pq^{k-1}, \quad k = 1, 2, 3, K, \quad (3)$$

де  $p = P(A)$  – ймовірність появи події  $A$  (вірусної послідовності API-викликів) у кожному випробуванні,  $q = 1 - p$ ,  $X = k$  – кількість випробувань до появи події  $A$  в серії незалежних повторних випробувань.

Графік ймовірності отримання вірусної послідовності API-викликів залежно від її довжини наведений на рис. 4.

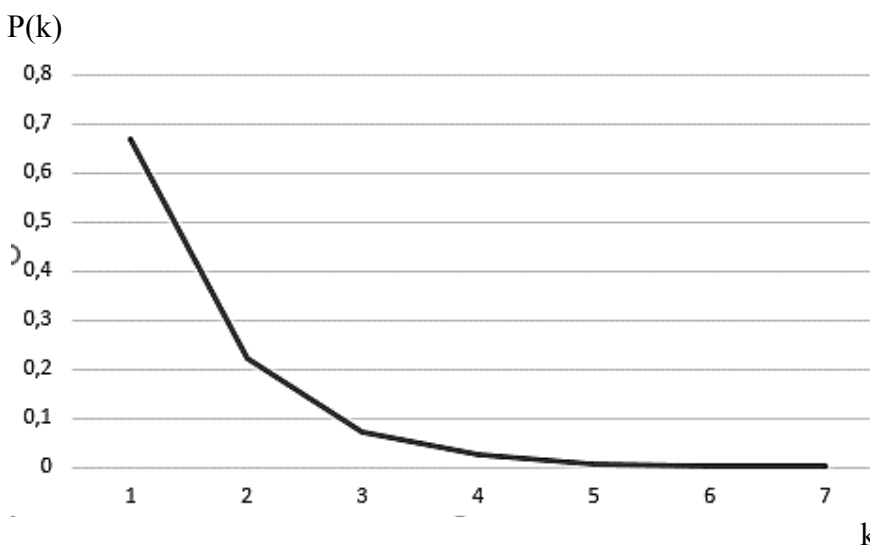


Рис. 4. Ймовірність отримання вірусної послідовності API-викликів залежно від її довжини

Нехай випадкова величина  $X$  – довжина самої послідовності. Визначимо числові характеристики даного розподілу: математичне сподівання  $M(X)$ , дисперсії  $D(X)$  та середнього квадратичного відхилення  $\sigma(X)$  :

$$M(X) = \frac{1}{p} = \frac{1}{0,67} = 1,4925 \quad (4)$$

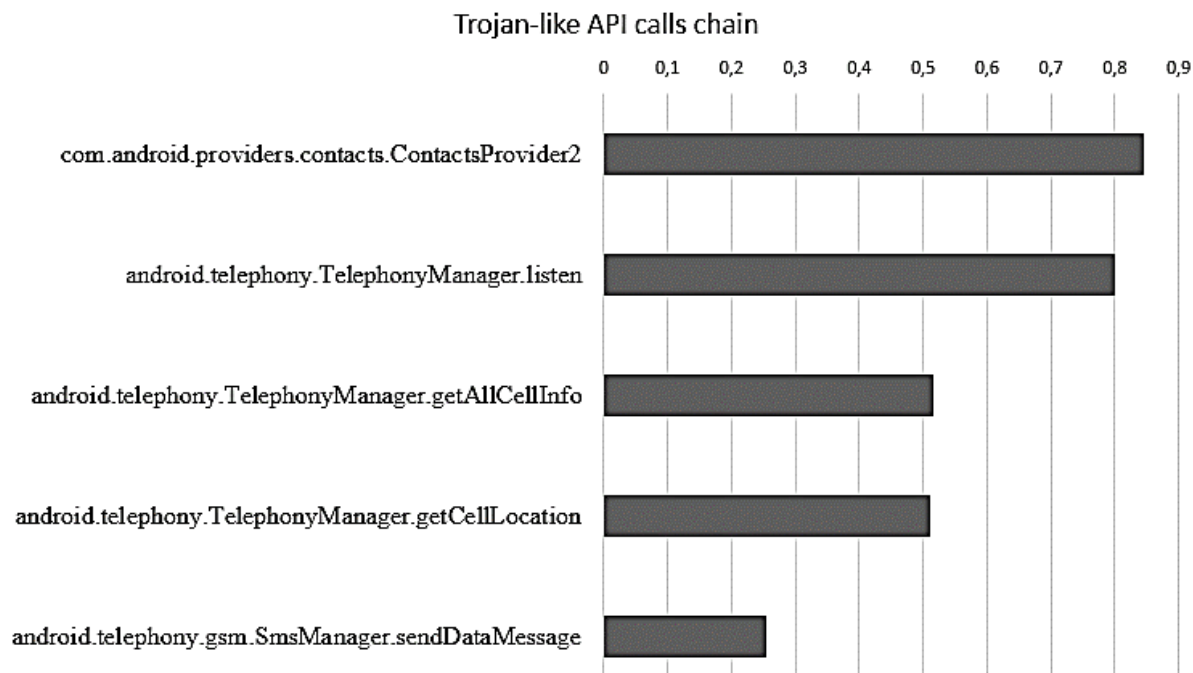
$$D(X) = \frac{q}{p^2} = \frac{0,33}{0,67^2} = 0,735 \quad (5)$$

$$\sigma(x) = \frac{\sqrt{q}}{p} = \frac{\sqrt{0,33}}{0,67} = 0,8573 \quad (6)$$

Для прикладу можна знайти ймовірність отримання певних API викликів троян характерних вірусів для таких послідовностей:

- 1) com.android.providers.contacts.ContactsProvider2;
- 2) android.telephony.TelephonyManager.listen;
- 3) getAllCellInfo;
- 4) getCellLocation;
- 5) sendDataMessage.

Результати експериментів із зафіксованою статистикою частоти викликів однієї з послідовностей, характерної для троян-вірусів, розрахованою за формулою (1), наведено на рис. 5.



*Рис. 5. Статистика частоти викликів однієї з послідовностей, характерної для троян-вірусів*

**Висновки відповідно до статті.** Дана стаття є продовженням статті дослідження безпеки ОС Android [6]. Запропоновано метод динамічного аналізу шкідливого ПЗ з використанням інструментарію для реверс-інжинірингу Android та IOS додатків – Frida [3]. Запропонований метод динамічного аналізу API-викликів можна використовувати для покращення існуючих систем аналізу APK, а метод дослідження вірусних послідовностей можна поширити для всіх характерних вірусних груп.

#### Список використаних джерел

1. AndroidMalwareGenome Project. URL: <http://www.malgenomeproject.org>.
2. Axplorer Android Permission Mappings. A static analysis tool to study Android's application framework's internals. URL: <https://github.com/reddr/axplorer>.
3. Frida Dynamic instrumentation toolkit for developers, reverse-engineers, and security researchers. URL: <https://www.frida.re>.
4. Global smartphone shipments by OS 2016-2021 statistic. URL: <https://www.statista.com/statistics/309448/global-smartphone-shipments-forecast-operating-system>.
5. Google Play: number of downloads statistic. URL: <https://www.statista.com/statistics/281106/number-of-android-app-downloads-from-google-play>.
6. Hossain Shahriar, Mahbulul Islam, Victor Clincy. Android malware detection using permission analysis. SoutheastCon 2017. Charlotte, North Carolina, USA 30 March – 2 April 2017. P. 60-66. DOI: 10.1109/SECON.2017.7925347.
7. Manifest.permission. URL: <http://developer.android.com/reference/android/Manifest.permission.html>.
8. McAfee Labs Threats Report August 2019. URL: <https://www.mcafee.com/enterprise/en-us/assets/reports/rp-quarterly-threats-aug-2019.pdf>.
9. PScout: Analyzing the Android Permission Specification. URL: <https://security.csl.toronto.edu/p scout>.

#### References

1. AndroidMalwareGenome Project. Retrieved from <http://www.malgenomeproject.org>.
2. Axplorer Android Permission Mappings. A static analysis tool to study Android's application framework's internals. Retrieved from <https://github.com/reddr/axplorer>.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Frida Dynamic instrumentation toolkit for developers, reverse-engineers, and security researchers. Retrieved from <https://www.frida.re>.
4. Global smartphone shipments by OS 2016-2021 statistic. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/309448/global-smartphone-shipments-forecast-operating-system>.
5. Google Play: number of downloads statistic. Retrieved from <https://www.statista.com/statistics/281106/number-of-android-app-downloads-from-google-play>.
6. Hossain Shahriar, Mahbulul Islam, Victor Clincy. Android malware detection using permission analysis. SoutheastCon 2017. Charlotte, North Carolina, USA 30 March – 2 April 2017. 2017. P. 60-66. DOI: 10.1109/SECON.2017.7925347.
7. Manifest.permission. Retrieved from <http://developer.android.com/reference/android/Manifest.permission.html>.
8. McAfee Labs Threats Report August 2019. URL: <https://www.mcafee.com/enterprise/en-us/assets/reports/rp-quarterly-threats-aug-2019.pdf>.
9. PScout: Analyzing the Android Permission Specification. Retrieved from <https://security.csl.toronto.edu/p scout>.

UDC 004.056.57

*Volodymyr Kazymyr, Igor Karpachev, Vladyslav Sipakov*

### DYNAMIC ANALYSIS OF ANDROID API CALLS

**Urgency of the research.** Storing user's private and confidential information have been widely used today by users of mobile applications. Methods and ways of spreading malware in the Android operating system are growing at the same time. A new and improved approach to Android OS access model analysis is needed for effective protection. The article deals with the development of new models of dynamic analysis, which will lead to improvement in the existing security system.

**Target setting.** In the area of ensuring the safe and efficient operation of mobile applications, functional and information security are considered as two fundamental components complementing each other. One of the most effective ways for an intruder to access confidential information is bypassing the system's single-point OS check. One of the tools to improve the reliability of work is the development of models of dynamic continuous protection.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent open publications were considered, including data from Google Malware Project, PScout Android Permissions Mappings, Aplorer Permissions Mappings and article Android Malware Detection Using Permission Analysis.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The development and mathematical justification of the models of continuous analysis of API call chains in Android OS.

**The research objective.** Suggest a basic Android OS protection model based on the analysis of API call chains.

**The statement of basic materials.** The article provides a method for receive and analyzing API calls chains of Android OS using the Frida instrumentation toolkit. There are also most representative results of proposed method are also presented.

**Conclusions.** The article proposes a dynamic malware analysis method and describes a series of steps to ensure effective Android OS security. The proposed method for investigating sensitive API call chains can be used to improve existing APK analysis systems.

**Keywords:** security; Android security; API calls; malware; dynamic analysis; permissions; Frida.

**Fig.:** 6. **References:** 10.

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

**Scopus Author ID:** 56644727300

**Карпачев Ігор Ігорович** – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Karpachev Igor** – PhD student, Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1910-3264>

**ResearcherID:** R-3626-2016

**Сіпаков Владислав Сергійович** – магістр кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sipakov Vladyslav** – master student, Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv National Technological University (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2070-2504>

УДК 311+512

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-92-100

Олександр Дубягін, Володимир Гур'єв, Ірина Фірсова

**МІЖРІВНЕВИЙ БАЛАНС: БАЛАНСОВІ ПОКАЗНИКИ МІЖРІВНЕВОГО ПЕРЕСУВАННЯ ОДИНИЦЬ ОБ'ЄКТА – АГРЕГАТНА ФОРМА**

**Актуальність теми дослідження.** Балансові показники міжрівневого пересування одиниць керованого структурованого об'єкта забезпечують всебічну кількісну оцінку наслідків керуючого впливу на об'єкт щодо ознаки, вимірюваної у шкалі відношень.

**Постановка проблеми.** Неагреговані балансові показники, запропоновані до цього для характеристики міжрівневого пересування, унеможливають подібну оцінку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Обчислення неагрегованих балансових показників міжрівневого пересування відбувається через значення чисельності рухомих одиниць об'єкта.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Оцінка наслідків керуючого впливу на структурований об'єкт, виконувана у значеннях вимірюваної ознаки і пояснювана міжрівневим пересуванням одиниць цього об'єкта.

**Постановка завдання.** Сформулювати балансові показники пересування в системі показників міжрівневого балансу шляхом формулювання правил їх обчислення в агрегатній формі.

**Виклад основного матеріалу.** Агреговані балансові показники міжрівневого пересування формулюються на основі його канонічної форми – міжрівневого заміщення, що дозволяє всебічно охарактеризувати наслідки керуючого впливу на об'єкт на різних рівнях їх систематизації. Результат такої систематизації – абсолютні та середні показники сальдо пересування і рівневого обороту, відносне сальдо пересування, коефіцієнти структури рівневого приросту й рівневого обороту, ефективність пересування, визначені в різних видових категоріях за критеріями «ступінь агрегування» та «межі руху». Вони сформульовані через сукупні значення ознаки, вимірюваної на тому чи іншому рівні у рухомих одиниць об'єкта, представлених у категоріях міжрівневого пересування «прибуття» і «вибуття».

**Висновки відповідно до статті.** Запропоновані балансові показники міжрівневого пересування мають важливе значення для оцінки наслідків та ефективності керуючого впливу на структурований об'єкт.

**Ключові слова:** балансові показники; ефективність пересування; коефіцієнт структури; міжрівневий баланс; оборот; приріст; сальдо.

Табл.: 1. Рис.: 1. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Формулювання балансових показників міжрівневого пересування одиниць керованого об'єкта, структурованого у шкалі відношень за однорідною ознакою, є актуальним науковим завданням забезпечення всебічної кількісної оцінки наслідків керуючого впливу на об'єкт і ефективності цього впливу в системі показників міжрівневого балансу. Для дій із даними в інформаційних системах подібна оцінка пов'язана з визначенням індексів (коефіцієнтів ефективності), де індексованими величинами є собівартість послуг, їхні фізичні обсяги, відповідні енерговитрати або трудомісткість.

**Постановка проблеми.** Балансові показники міжрівневого пересування, представлені до цього через незважені (неагреговані) складові міжрівневого балансу, унеможливають подібну оцінку. Подолати цю проблему стає можливим завдяки моделі міжрівневого балансу, синтезованій в агрегатній формі, де складові балансу представлені зваженими, так, що роль ваги рівневих значень ознаки відіграє чисельність міжрівневих пересувань одиниць об'єкта.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Балансові показники міжрівневого пересування, представлені в системі показників міжрівневого балансу за критерієм «призначення», до цього були сформульовані лише в неагрегованому вигляді – через складові простої моделі міжрівневого балансу. В агрегатній формі остання представлена в роботі [2], а її аналогом є модель міжгалузевих балансу (Леонт'єва В.В.) [1, с. 8-18]. Агреговані складові моделі міжрівневого балансу підходять на роль порівнюваних між собою величин в конструкції даних показників. Щодо оцінки наслідків керуючого впливу на об'єкт, який через цей вплив зазнає структурних зрушень, пояснюваних рухом його одиниць, у статистиці традиційно застосовуються абсолютні та відносні величини, в тому числі коефіцієнти порівняння [1; 3-10].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Це – оцінка наслідків керуючого впливу на структурований об'єкт, яка виконується у значеннях вимірюваної ознаки та пояснюється міжрівневим пересуванням одиниць цього об'єкта.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Постановка завдання (мета статті).** Сформулювати балансові показники міжрівневого пересування одиниць об'єкта в системі показників міжрівневого балансу шляхом формулювання правил їх обчислення в агрегатній формі.

**Виклад основного матеріалу.** Наслідки керуючого впливу на об'єкт, структурований за однорідною ознакою у шкалі відношень, оцінюються безпосередньо через балансові показники міжрівневого руху одиниць цього об'єкта. Тому кількісна оцінка наслідків має системний характер, опосередкований класифікацією цих показників за такими основними критеріями: за призначенням – рівневий приріст, рівневий оборот, відносне сальдо пересування, ефективність пересування; за способом обчислення – абсолютні, відносні, середні; за межами руху – рівневі, групові; за ступенем агрегування – парні, частинні, часткові. Оцінюючи наслідки переходу об'єкта зі стану «до» впливу («0») у стан «після» нього («1»), будь-який балансовий показник містить у своєму складі дві порівнювані між собою складові балансу, які за критерієм класифікації «ознаки руху» визначаються в таких категоріях пересування одиниць об'єкта: вибуття («В») і прибуття («П»), у тому числі прогресивного («Вв.» і «Пн.») і регресивного («Вн.» і «Пв.»).

Подібне порівняння складових балансу стає можливим завдяки тому, що модель міжрівневого балансу синтезована в агрегатній формі [2]. У такій моделі чисельність  $n_{ij}$  ( $i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, k$ ) міжрівневих пересувань одиниць об'єкта з рівня  $i$  на рівень  $j$  є вагою щодо рівневих значень ознаки  $l_i$  і  $l_j$ , вимірюваної в цих одиницях відповідно на рівні  $i$  у стані об'єкта «до» та на рівні  $j$  у його стані «після». Результатом такого зважування є такі рівневі парні складові балансу – агрегати:  $L_{Bij} = n_{ij}l_i$  і  $L_{Pij} = n_{ij}l_j$  ( $i \neq j$ ), які є основою для складання міжрівневого балансу. Через них визначаються більш складні складові балансу з категорій пересування, вибуття та прибуття: рівневі частинні –  $L_{Bi}$ ,  $L_{B<j>}$  і  $L_{Pj}$ ,  $L_{P<i>}$ ; рівневі часткові –  $L_{Biv.}$ ,  $L_{Bv.<j>}$ ,  $L_{Bin.}$ ,  $L_{Bn.<j>}$  і  $L_{Pnj}$ ,  $L_{P<i>n.}$ ,  $L_{Pvj}$ ,  $L_{P<i>v.}$ ; групові частинні –  $L_{Bv}$  і  $L_{Pn}$ ; групові часткові –  $L_{Bv.}$ ,  $L_{Bn.}$  і  $L_{Pn.}$ ,  $L_{Pv.}$ , - які є зведеними агрегатами й являють сукупні значення ознаки, вимірюваної у станах об'єкта «до» і «після» відповідно і представлені сукупною чисельністю його одиниць на рівні  $i$  або  $j$  ( $N_{Bi}$ ,  $N_{Biv.}$ ,  $N_{Bin.}$  або  $N_{Pj}$ ,  $N_{Pnj}$ ,  $N_{Pvj}$ ), а також на будь-якому рівні ( $N_{Bv.}$ ,  $N_{Bn.}$  або  $N_{Pn.}$ ,  $N_{Pv.}$ ).

Щодо порівнюваних між собою рівневих парних агрегатів, можливі дві схеми міжрівневого заміщення одиниць об'єкта, які представляють відповідні складові балансу (рис.): перша – на опорному рівні  $p$  ( $L_{Bpj}$  і  $L_{Pip}$ ) або поза ним ( $L_{Bip}$  і  $L_{Ppj}$ ) у взаємодії рівня  $p$  з рівнями  $i$  й  $j$  (рис., а); друга – на рівнях  $i$  ( $L_{Bij}$ ) й  $j$  ( $L_{Bij}$ ) в безпосередній їх взаємодії (рис., б).

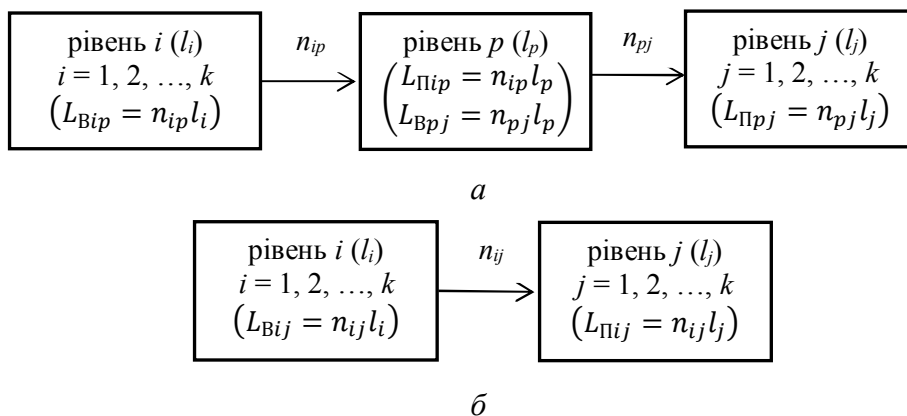


Рис. Схеми міжрівневого заміщення одиниць об'єкта: на рівні  $p$  у його взаємодії з рівнями  $i$  й  $j$  (а); з рівня  $i$  на рівень  $j$  (б)

Якщо ознака вимірюється поза опорного рівня ( $i$ ,  $j$  або  $p$ ), тобто на будь-якому іншому рівні, в позначенні складової або показника балансу цей опорний рівень взятий у кутові дужки. Усі можливі конструкції балансових показників міжрівневого пересування представлені в окремій таблиці.

Порівняння складових балансу (див. табл.) дає такі видові категорії балансових показників міжрівневого пересування: абсолютні – сальдо пересування (АСП) і рівневий оборот (АРО); відносні – сальдо пересування (ВСП), коефіцієнти структури рівневого приросту (КСРП) і рівневого обороту (КСРО), коефіцієнт ефективності пересування (КЕП); середні – сальдо пересування (ССП) і рівневий оборот (СРО) (гр. 2). Усі вони згруповані за критеріями «ступінь агрегування» (гр. 1), «межі руху» (гр. 3 і гр. 4), а також відповідно до того, яка схема міжрівневого заміщення застосовується: або триада рівнів ( $i; p; j$ ) (гр. 3), або пара рівнів ( $i; j$ ) (гр. 4).

Характерним для всіх балансових показників є порівняння (віднімання або ділення) або поєднання (додавання в рівневому обороті) в них складових балансу, одна з яких представлена одиницями об'єкта, вибулими з рівня (на рівень), а інша – одиницями об'єкта, прибулими на рівень (з рівня), так, що вони або безпосередньо визначають той чи інший балансовий показник (абсолютний, відносне сальдо пересування) або разом складають його окремі частини (чисельник і знаменник коефіцієнтів рівневого приросту, рівневого обороту й ефективності пересування, чисельник середнього показника).

Вид і відповідне позначення будь-якого часткового балансового показника та парного коефіцієнта структури рівневого приросту (обороту) за напрямом пересування залежить від того, пересування якого напрямку ( $d$  – «*direction*») представляють порівнювані (поєднувані) складові балансу-компоненти цього показника: прогресивно-регресивне (н.) або регресивно-прогресивне (в.) назустріч; прогресивне (н./в.) або регресивне (в./н.) навздогін [10].

Таблиця

Балансові показники міжрівневого пересування

Вид	Показник	Категорії пересування, які представляють порівнювані між собою складові балансу	
		в $p$ -рівневих або в поза $p$ -рівневих значеннях ознаки	через вибуття з рівня (В) або через прибуття на рівень (П)
1	2	3	4
Парний	х	вибуття або прибуття $n_{pj}$ од. з рівня $p$ на рівень $j$ і $n_{ip}$ од. з рівня $i$ на рівень $p$	вибуття або прибуття $n_{ij}$ од. з рівня $i$ на рівень $j$
		<i>Рівневий</i>	
	АСП АРО	$\Delta L_p^{(ij)} = L_{\Pi ip} - L_{Вpj} = \Delta N_p^{(ij)} l_p;$ $\Delta L_{ij}^{(p)} = L_{\Pi pj} - L_{Вip} = n_{pj} l_j - n_{ip} l_i$ $\Sigma L_p^{(ij)} = L_{\Pi ip} + L_{Вpj} = \Sigma N_p^{(ij)} l_p;$ $\Sigma L_{ij}^{(p)} = L_{\Pi pj} + L_{Вip} = n_{pj} l_j + n_{ip} l_i$	$\Delta L_{ij} = L_{\Pi ij} - L_{Вij} = n_{ij} (l_j - l_i)$ $\Sigma L_{ij} = L_{\Pi ij} + L_{Вij} = n_{ij} (l_j + l_i)$
	ВСП	$\widehat{ВСП}_p^{(ij)} = L_{\Pi ip} : L_{Вpj} = n_{ip} : n_{pj};$ $\widehat{ВСП}_{ij}^{(p)} = L_{\Pi pj} : L_{Вip} = n_{pj} l_j : n_{ip} l_i$	$\widehat{ВСП}_{ij} = L_{\Pi ij} : L_{Вij} = l_j : l_i$
Парний	КС: РП РО	$\widehat{К}_{1РПp}^{(ij)} = \Delta L_p^{(ij)} : \Delta L_p = \Delta N_p^{(ij)} : \Delta N_p;$ $\widehat{К}_{1РПij}^{(p)} = \Delta L_{ij}^{(p)} : \Delta L_{(p)}$ $\widehat{К}_{1РОp}^{(ij)} = \Sigma L_p^{(ij)} : \Sigma L_p = \Sigma N_p^{(ij)} : \Sigma N_p;$ $\widehat{К}_{1РОij}^{(p)} = \Sigma L_{ij}^{(p)} : \Sigma L_{(p)}$	$\widehat{К}_{1РП(В)ij} = \Delta L_{ij} : \Delta L_{Вi};$ $\widehat{К}_{1РП(П)ij} = \Delta L_{ij} : \Delta L_{Пj}$ $\widehat{К}_{1РО(В)ij} = \Sigma L_{ij} : \Sigma L_{Вi};$ $\widehat{К}_{1РО(П)ij} = \Sigma L_{ij} : \Sigma L_{Пj}$
		за напрямом ( $d$ )	
Парний		$d \div \{н.; в.; н./в.; в./н.\}$	$d \div \{н.; в.\}$
		$\widehat{К}_{2РПp}^{(ij)} = \Delta L_p^{(ij)} : \Delta L_{pd} = \Delta N_p^{(ij)} : \Delta N_{pd};$ $\widehat{К}_{2РПij}^{(p)} = \Delta L_{ij}^{(p)} : \Delta L_{(p)d}$ $\widehat{К}_{2РОp}^{(ij)} = \Sigma L_p^{(ij)} : \Sigma L_{pd} = \Sigma N_p^{(ij)} : \Sigma N_{pd};$ $\widehat{К}_{2РОij}^{(p)} = \Sigma L_{ij}^{(p)} : \Sigma L_{(p)d}$	$\widehat{К}_{2РП(В)ij} = \Delta L_{ij} : \Delta L_{id};$ $\widehat{К}_{2РП(П)ij} = \Delta L_{ij} : \Delta L_{dj}$ $\widehat{К}_{2РО(В)ij} = \Sigma L_{ij} : \Sigma L_{id};$ $\widehat{К}_{2РО(П)ij} = \Sigma L_{ij} : \Sigma L_{dj}$
	КЕП	$\widehat{К}_{ЕПp}^{(ij)} = \Delta L_p^{(ij)} : \Sigma L_p^{(ij)} = \Delta N_p^{(ij)} : \Sigma N_p^{(ij)};$ $\widehat{К}_{ЕПij}^{(p)} = \Delta L_{ij}^{(p)} : \Sigma L_{ij}^{(p)}$	$\widehat{К}_{ЕПij} = \Delta L_{ij} : \Sigma L_{ij} = (l_j - l_i) : (l_j + l_i)$

1	2	3	4
Частинний	<i>Груповий</i>		
	за напрямом (d.)		
	КС: РП РО	$d. \div \{н.; в.; н./в.; в./н.\}$	$d. \div \{н./в.; в./н.\}$
		$\widehat{K}_{3РПp}^{(ij)} = \Delta L_p^{(ij)} : \Delta L_d; \widehat{K}_{3РПij}^{(p)} = \Delta L_{ij}^{(p)} : \Delta L_d$ $\widehat{K}_{3РОp}^{(ij)} = \Sigma L_p^{(ij)} : \Sigma L_d; \widehat{K}_{3РОij}^{(p)} = \Sigma L_{ij}^{(p)} : \Sigma L_d$	$\widehat{K}_{3РП(B)ij} \equiv \widehat{K}_{3РП(\Pi)ij} = \Delta L_{ij} : \Delta L_d$ $\widehat{K}_{3РО(B)ij} \equiv \widehat{K}_{3РО(\Pi)ij} = \Sigma L_{ij} : \Sigma L_d$
	КС: РП РО	$\widehat{K}_{4РПp}^{(ij)} = \Delta L_p^{(ij)} : \Delta L; \widehat{K}_{4РПij}^{(p)} = \Delta L_{ij}^{(p)} : \Delta L$ $\widehat{K}_{4РОp}^{(ij)} = \Sigma L_p^{(ij)} : \Sigma L; \widehat{K}_{4РОij}^{(p)} = \Sigma L_{ij}^{(p)} : \Sigma L$	$\widehat{K}_{4РП(B)ij} \equiv \widehat{K}_{4РП(\Pi)ij} = \Delta L_{ij} : \Delta L$ $\widehat{K}_{4РО(B)ij} \equiv \widehat{K}_{4РО(\Pi)ij} = \Sigma L_{ij} : \Sigma L$
	x	вибуття або прибуття $N_{Bp}$ од. з рівня $p$ на будь-який інший рівень і прибуття або вибуття $N_{Pr}$ од. на рівень $p$ з будь-якого іншого рівня	вибуття і прибуття $N_{Bj}$ з рівня $i$ на будь-який інший рівень або прибуття і вибуття $N_{Pj}$ од. на рівень $j$ з будь-якого іншого рівня
	<i>Рівневий</i>		
	АСП АРО	$\Delta L_p = L_{Pr} - L_{Bp}; \Delta L_{(p)} = L_{P(p)} - L_{B(p)}$ $\Sigma L_p = L_{Pr} + L_{Bp}; \Sigma L_{(p)} = L_{P(p)} + L_{B(p)}$	$\Delta L_{Bi} = L_{Pi} - L_{Bi}; \Delta L_{Pj} = L_{Pj} - L_{B(j)}$ $\Sigma L_{Bi} = L_{Pi} + L_{Bi}; \Sigma L_{Pj} = L_{Pj} + L_{B(j)}$
	ВСП	$\widehat{B\hat{C}P}_p = L_{Pr} : L_{Bp} = N_{Pr} : N_{Bp};$ $\widehat{B\hat{C}P}_{(p)} = L_{P(p)} : L_{B(p)}$	$\widehat{B\hat{C}P}_{(B)i} = L_{P(i)} : L_{B(i);}$ $\widehat{B\hat{C}P}_{(\Pi)j} = L_{P(j)} : L_{B(j)}$
	КЕП	$\widehat{K}_{ЕПp} = \Delta L_p : \Sigma L_p = \Delta N_p : \Sigma N_p;$ $\widehat{K}_{ЕП(p)} = \Delta L_{(p)} : \Sigma L_{(p)}$	$\widehat{K}_{ЕП(B)i} = \Delta L_{Bi} : \Sigma L_{Bi};$ $\widehat{K}_{ЕП(\Pi)j} = \Delta L_{Pj} : \Sigma L_{Pj}$
ССП СРО	$\overline{\Delta L}_p = \Delta L_p :  \Delta N_p ; \overline{\Delta L}_{(p)} = \Delta L_{(p)} :  \Delta N_{(p)} $ $\overline{\Sigma L}_p = \Sigma L_p : \Sigma N_p; \overline{\Sigma L}_{(p)} = \Sigma L_{(p)} : \Sigma N_{(p)}$	$\overline{\Delta L}_{Bi} = \Delta L_{Bi} :  \Delta N_{Bi} ; \overline{\Delta L}_{Pj} = \Delta L_{Pj} :  \Delta N_{Pj} $ $\overline{\Sigma L}_{Bi} = \Sigma L_{Bi} : \Sigma N_{Bi}; \overline{\Sigma L}_{Pj} = \Sigma L_{Pj} : \Sigma N_{Pj}$	
<i>Груповий</i>			
КС: РП РО	$\widehat{K}_{РПp} = \Delta L_p : \Delta L; \widehat{K}_{РП(p)} = \Delta L_{(p)} : \Delta L$ $\widehat{K}_{РОp} = \Sigma L_p : \Sigma L; \widehat{K}_{РО(p)} = \Sigma L_{(p)} : \Sigma L$	$\widehat{K}_{РП(B)i} = \Delta L_{Bi} : \Delta L; \widehat{K}_{РП(\Pi)j} = \Delta L_{Pj} : \Delta L$ $\widehat{K}_{РО(B)i} = \Sigma L_{Bi} : \Sigma L; \widehat{K}_{РО(\Pi)j} = \Sigma L_{Pj} : \Sigma L$	
x	вибуття $N_B$ од. з будь-якого рівня і прибуття $N_P$ од. на будь-який рівень		
АСП АРО	$\Delta L = L_P - L_B$ $\Sigma L = L_P + L_B$		
ВСП	$\widehat{B\hat{C}P} = L_P : L_B$		
КЕП	$\widehat{K}_{ЕП} = \Delta L : \Sigma L$		
ССП СРО	$\overline{\Delta L} = \Delta L :  \Delta N $ $\overline{\Sigma L} = \Sigma L : \Sigma N$		
Частковий	x	прогресивного (регресивного) вибуття $N_{Bpv}$ ( $N_{Bpn}$ ) од. з рівня $p$ або $N_{Ppv}$ ( $N_{Ppn}$ ) од. на рівень $p$ і прогресивного (регресивного) прибуття $N_{Pn,p}$ ( $N_{Pv,p}$ ) од. на рівень $p$ або $N_{Bpv}$ ( $N_{Bpn}$ ) од. з рівня $p$	прогресивного (регресивного) вибуття $N_{Biv}$ ( $N_{Bin}$ ) од. з рівня $i$ або $N_{Piv}$ ( $N_{Pin}$ ) од. на рівень $j$ і прогресивного (регресивного) прибуття $N_{Pin,j}$ ( $N_{Pv,j}$ ) од. на рівень $j$ або $N_{Biv}$ ( $N_{Bin}$ ) од. з рівня $i$
	<i>Рівневий (d. ÷ {н.; в.; н./в.; в./н.})</i>		
	АСП АРО	$\left\{ \begin{aligned} \Delta L_{pn} &= L_{Pn,p} - L_{Bpn} \\ \Delta L_{pv} &= L_{Pv,p} - L_{Bpv} \\ \Delta L_{p\frac{n}{v}} &= L_{Pn,p} - L_{Bpv} \\ \Delta L_{p\frac{v}{n}} &= L_{Pv,p} - L_{Bpn} \end{aligned} \right.$ $\left\{ \begin{aligned} \Delta L_{(p)n} &= L_{P(p)n} - L_{Bn.(p)} \\ \Delta L_{(p)v} &= L_{P(p)v} - L_{Bv.(p)} \\ \Delta L_{(p)\frac{n}{v}} &= L_{P(p)n} - L_{Bv.(p)} \\ \Delta L_{(p)\frac{v}{n}} &= L_{P(p)v} - L_{Bn.(p)} \end{aligned} \right.$ $\left\{ \begin{aligned} \Sigma L_{pn} &= L_{Pn,p} + L_{Bpn} \\ \Sigma L_{pv} &= L_{Pv,p} + L_{Bpv} \\ \Sigma L_{p\frac{n}{v}} &= L_{Pn,p} + L_{Bpv} \\ \Sigma L_{p\frac{v}{n}} &= L_{Pv,p} + L_{Bpn} \end{aligned} \right.$ $\left\{ \begin{aligned} \Sigma L_{(p)n} &= L_{P(p)n} + L_{Bn.(p)} \\ \Sigma L_{(p)v} &= L_{P(p)v} + L_{Bv.(p)} \\ \Sigma L_{(p)\frac{n}{v}} &= L_{P(p)n} + L_{Bv.(p)} \\ \Sigma L_{(p)\frac{v}{n}} &= L_{P(p)v} + L_{Bn.(p)} \end{aligned} \right.$	$\left\{ \begin{aligned} \Delta L_{\frac{iv}{n}} &= L_{P(i)n} - L_{Bin} \\ \Delta L_{\frac{iv}{v}} &= L_{P(i)v} - L_{Biv} \\ \Delta L_{i\frac{v}{n}} &= L_{P(i)n} - L_{Biv} \\ \Delta L_{i\frac{v}{v}} &= L_{P(i)v} - L_{Bin} \end{aligned} \right. \left\{ \begin{aligned} \Delta L_{\frac{in}{v}} &= L_{Pn,j} - L_{Bn.(j)} \\ \Delta L_{\frac{in}{n}} &= L_{Pv,j} - L_{Bv.(j)} \\ \Delta L_{n\frac{v}{j}} &= L_{Pn,j} - L_{Bv.(j)} \\ \Delta L_{v\frac{v}{j}} &= L_{Pv,j} - L_{Bn.(j)} \end{aligned} \right.$ $\left\{ \begin{aligned} \Sigma L_{\frac{iv}{n}} &= L_{P(i)n} + L_{Bin} \\ \Sigma L_{\frac{iv}{v}} &= L_{P(i)v} + L_{Biv} \\ \Sigma L_{i\frac{v}{n}} &= L_{P(i)n} + L_{Biv} \\ \Sigma L_{i\frac{v}{v}} &= L_{P(i)v} + L_{Bin} \end{aligned} \right. \left\{ \begin{aligned} \Sigma L_{\frac{in}{v}} &= L_{Pn,j} + L_{Bn.(j)} \\ \Sigma L_{\frac{in}{n}} &= L_{Pv,j} + L_{Bv.(j)} \\ \Sigma L_{n\frac{v}{j}} &= L_{Pn,j} + L_{Bv.(j)} \\ \Sigma L_{v\frac{v}{j}} &= L_{Pv,j} + L_{Bn.(j)} \end{aligned} \right.$

1	2	3	4
	ВСП	$\begin{cases} \widehat{BC\Pi}_{pн.} = L_{Пн.р} : L_{Врн.} = N_{Пн.р} : N_{Врн.} \\ \widehat{BC\Pi}_{рв.} = L_{Пв.р} : L_{Врв.} = N_{Пв.р} : N_{Врв.} \\ \widehat{BC\Pi}_{pн.}^{\#} = L_{Пн.р} : L_{Врв.} = N_{Пн.р} : N_{Врв.} \\ \widehat{BC\Pi}_{рв.}^{\#} = L_{Пв.р} : L_{Врн.} = N_{Пв.р} : N_{Врн.} \end{cases}$ $\begin{cases} \widehat{BC\Pi}_{(р)н.} = L_{П(р)н.} : L_{Вн.(р)} \\ \widehat{BC\Pi}_{(р)в.} = L_{П(р)в.} : L_{Вв.(р)} \\ \widehat{BC\Pi}_{(р)н.}^{\#} = L_{П(р)н.} : L_{Вв.(р)} \\ \widehat{BC\Pi}_{(р)в.}^{\#} = L_{П(р)в.} : L_{Вн.(р)} \end{cases}$	$\begin{cases} \widehat{BC\Pi}_{(B)iн.}^{\#} = L_{П(i)н.} : L_{Вiн.} \\ \widehat{BC\Pi}_{(B)iв.}^{\#} = L_{П(i)в.} : L_{Вiв.} \\ \widehat{BC\Pi}_{(B)iv.} = L_{П(i)н.} : L_{Вiv.} \\ \widehat{BC\Pi}_{(B)in.} = L_{П(i)в.} : L_{Вin.} \\ \widehat{BC\Pi}_{(П)н.}^{\#} = L_{Пн.р} : L_{Вн.(р)} \\ \widehat{BC\Pi}_{(П)в.}^{\#} = L_{Пв.р} : L_{Вв.(р)} \\ \widehat{BC\Pi}_{(П)н.} = L_{Пн.р} : L_{Вв.(р)} \\ \widehat{BC\Pi}_{(П)в.} = L_{Пв.р} : L_{Вн.(р)} \end{cases}$
	КС: РП РО	$\begin{aligned} \widehat{K}_{1РПpd.} &= \Delta L_{pd.} : \Delta L_p = \Delta N_{pd.} : \Delta N_p; \\ \widehat{K}_{1РП(p)d.} &= \Delta L_{(p)d.} : \Delta L_{(p)} \\ \widehat{K}_{1РОpd.} &= \Sigma L_{pd.} : \Sigma L_p = \Sigma N_{pd.} : \Sigma N_p; \\ \widehat{K}_{1РО(p)d.} &= \Sigma L_{(p)d.} : \Sigma L_{(p)} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \widehat{K}_{1РП(B)id.} &= \Delta L_{id.} : \Delta L_{Bi}; \\ \widehat{K}_{1РП(П)d.j} &= \Delta L_{d.j} : \Delta L_{Пj} \\ \widehat{K}_{1РО(B)id.} &= \Sigma L_{id.} : \Sigma L_{Bi}; \\ \widehat{K}_{1РО(П)d.j} &= \Sigma L_{d.j} : \Sigma L_{Пj} \end{aligned}$
	КЕП	$\begin{aligned} \widehat{K}_{ЕПpd.} &= \Delta L_{pd.} : \Sigma L_{pd.} = \Delta N_{pd.} : \Sigma N_{pd.}; \\ \widehat{K}_{ЕП(р)d.} &= \Delta L_{(р)d.} : \Sigma L_{(р)d.} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \widehat{K}_{ЕП(B)id.} &= \Delta L_{id.} : \Sigma L_{id.}; \\ \widehat{K}_{ЕП(П)d.j} &= \Delta L_{d.j} : \Sigma L_{d.j} \end{aligned}$
	ССП СРО	$\begin{aligned} \overline{\Delta L}_{pd.} &= \Delta L_{pd.} :  \Delta N_{pd.} ; \\ \overline{\Delta L}_{(р)d.} &= \Delta L_{(р)d.} :  \Delta N_{(р)d.}  \\ \overline{\Sigma L}_{pd.} &= \Sigma L_{pd.} : \Sigma N_{pd.}; \\ \overline{\Sigma L}_{(р)d.} &= \Sigma L_{(р)d.} : \Sigma N_{(р)d.} \end{aligned}$	$\begin{aligned} \overline{\Delta L}_{id.} &= \Delta L_{id.} :  \Delta N_{id.} ; \\ \overline{\Delta L}_{d.j} &= \Delta L_{d.j} :  \Delta N_{d.j}  \\ \overline{\Sigma L}_{id.} &= \Sigma L_{id.} : \Sigma N_{id.}; \\ \overline{\Sigma L}_{d.j} &= \Sigma L_{d.j} : \Sigma N_{d.j} \end{aligned}$
<i>Груповий (d. ÷ {н.; в.; н./в.; в./н.})</i>			
АСП АРО	$\begin{aligned} \Delta L_{н.} &= L_{Пн.} - L_{Вн.}, \Delta L_{в.} = L_{Пв.} - L_{Вв.}, \Delta L_{н.}^{\#} = L_{Пн.} - L_{Вв.}, \Delta L_{в.}^{\#} = L_{Пв.} - L_{Вн.} \\ \Sigma L_{н.} &= L_{Пн.} + L_{Вн.}, \Sigma L_{в.} = L_{Пв.} + L_{Вв.}, \Sigma L_{н.}^{\#} = L_{Пн.} + L_{Вв.}, \Sigma L_{в.}^{\#} = L_{Пв.} + L_{Вн.} \end{aligned}$		
Частковий	КС: РП РО	$\begin{aligned} \widehat{K}_{2РПpd.} &= \Delta L_{pd.} : \Delta L_d; \\ \widehat{K}_{2РП(р)d.} &= \Delta L_{(р)d.} : \Delta L_d \\ \widehat{K}_{2РОpd.} &= \Sigma L_{pd.} : \Sigma L_d; \\ \widehat{K}_{2РО(р)d.} &= \Sigma L_{(р)d.} : \Sigma L_d \end{aligned}$	$\begin{aligned} \left( \widehat{K}_{2РП(B)iн.}^{\#} = \Delta L_{iн.}^{\#} : \Delta L_{н.} \right) & \left( \widehat{K}_{2РП(П)н.}^{\#} = \Delta L_{н.}^{\#} : \Delta L_{н.} \right) \\ \left( \widehat{K}_{2РП(B)iв.}^{\#} = \Delta L_{iв.}^{\#} : \Delta L_{в.} \right) & \left( \widehat{K}_{2РП(П)в.}^{\#} = \Delta L_{в.}^{\#} : \Delta L_{в.} \right) \\ \left( \widehat{K}_{2РП(B)iv.} = \Delta L_{iv.} : \Delta L_{н.}^{\#} \right) & \left( \widehat{K}_{2РП(П)в.} = \Delta L_{в.} : \Delta L_{н.}^{\#} \right) \\ \left( \widehat{K}_{2РО(B)iн.}^{\#} = \Sigma L_{iн.}^{\#} : \Sigma L_{н.} \right) & \left( \widehat{K}_{2РО(П)н.}^{\#} = \Sigma L_{н.}^{\#} : \Sigma L_{н.} \right) \\ \left( \widehat{K}_{2РО(B)iв.}^{\#} = \Sigma L_{iв.}^{\#} : \Sigma L_{в.} \right) & \left( \widehat{K}_{2РО(П)в.}^{\#} = \Sigma L_{в.}^{\#} : \Sigma L_{в.} \right) \\ \left( \widehat{K}_{2РО(B)iv.} = \Sigma L_{iv.} : \Sigma L_{н.}^{\#} \right) & \left( \widehat{K}_{2РО(П)в.} = \Sigma L_{н.} : \Sigma L_{н.}^{\#} \right) \\ \left( \widehat{K}_{2РО(B)in.} = \Sigma L_{in.} : \Sigma L_{н.}^{\#} \right) & \left( \widehat{K}_{2РО(П)в.} = \Sigma L_{в.} : \Sigma L_{н.}^{\#} \right) \end{aligned}$
	КС: РП РО	$\begin{aligned} \widehat{K}_{3РПpd.} &= \Delta L_{pd.} : \Delta L; \\ \widehat{K}_{3РП(р)d.} &= \Delta L_{(р)d.} : \Delta L \\ \widehat{K}_{3РОpd.} &= \Sigma L_{pd.} : \Sigma L; \\ \widehat{K}_{3РО(р)d.} &= \Sigma L_{(р)d.} : \Sigma L \end{aligned}$	$\begin{aligned} \widehat{K}_{3РП(B)id.} &= \Delta L_{id.} : \Delta L; \\ \widehat{K}_{3РП(П)d.j} &= \Delta L_{d.j} : \Delta L \\ \widehat{K}_{3РО(B)id.} &= \Sigma L_{id.} : \Sigma L; \\ \widehat{K}_{3РО(П)d.j} &= \Sigma L_{d.j} : \Sigma L \end{aligned}$
	ВСВ	$\widehat{BC\Pi}_{н.} = L_{Пн.} : L_{Вн.}; \widehat{BC\Pi}_{в.} = L_{Пв.} : L_{Вв.}; \widehat{BC\Pi}_{н.}^{\#} = L_{Пн.} : L_{Вв.}; \widehat{BC\Pi}_{в.}^{\#} = L_{Пв.} : L_{Вн.}$	
	КЕП	$\widehat{K}_{ЕПd.} = \Delta L_d : \Sigma L_d$	
	ССП СРО	$\begin{aligned} \overline{\Delta L}_d &= \Delta L_d :  \Delta N_d  \\ \overline{\Sigma L}_d &= \Sigma L_d : \Sigma N_d \end{aligned}$	

Безпосередня оцінка наслідків керуючого впливу на об'єкт – втрат або поповнення щодо ознаки, вимірюваної в його одиниць, – забезпечується абсолютним сальдо пересування, яке характеризує на скільки відрізняються одне від одного сукупні значення ознаки, вимірюваної на тому чи іншому рівні (поза ним) у прибулих і вибулих одиниць об'єкта, які представляють порівнювані категорії пересування. Незалежно від видової



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

категорії, у таблиці воно визначається через складові балансу з відповідної видової категорії. З іншого боку, залежно від схеми пересування, будь-який з наведених в таблиці частинних і часткових показників абсолютного сальдо може бути обчислений через парний показник  $p$ -рівневого  $\Delta L_p^{(ij)}$  або поза  $p$ -рівневого  $\Delta L_{ij}^{(p)}$  сальдо, якщо він представляє міжрівневе пересування одиниць об'єкта в тріаді рівнів  $(i; p; j)$  (рис., а), або через парний показник  $\Delta L_{ij}$ , якщо міжрівневе пересування розглядається в парі рівнів  $(i; j)$  (рис., б). Наприклад, загальні втрати ( $\Delta L < 0$ ) або поповнення ( $\Delta L > 0$ ) об'єкта можна виразити таким чином:

$$\Delta L = \begin{cases} \left( \sum_{p=1}^k \left( \sum_{i=1}^{p-1} \Delta L_p^{(ij)} \Big|_{j < p} + \sum_{i=p+1}^k \Delta L_p^{(ij)} \Big|_{j > p} \right) \right) \\ \left( \sum_{p=1}^k \left( \sum_{j=1}^{p-1} \Delta L_p^{(ij)} \Big|_{i < p} + \sum_{j=p+1}^k \Delta L_p^{(ij)} \Big|_{i > p} \right) \right) \end{cases} \equiv \begin{cases} \left( \sum_{p=1}^k \left( \sum_{i=1}^{p-1} \Delta L_{ij}^{(p)} \Big|_{j < p} + \sum_{i=p+1}^k \Delta L_{ij}^{(p)} \Big|_{j > p} \right) \right); \\ \left( \sum_{p=1}^k \left( \sum_{j=1}^{p-1} \Delta L_{ij}^{(p)} \Big|_{i < p} + \sum_{j=p+1}^k \Delta L_{ij}^{(p)} \Big|_{i > p} \right) \right), \end{cases} \quad (1)$$

$$\Delta L = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \Delta L_{ij} \equiv \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k \Delta L_{ij}. \quad (2)$$

Складові в сумах виразу (1) пояснюють наслідки керуючого впливу на об'єкт через значення ознаки, вимірюваної у станах об'єкта «після» і «до»: у першій системі рівнянь –  $L_{\text{Пі}p} = n_{ip}l_p$  і  $L_{\text{В}pj} = n_{pj}l_p$  – відповідно в  $n_{ip}$  і в  $n_{pj}$  його одиниць на рівні  $p$ ; в другій системі рівнянь –  $L_{\text{П}pj} = n_{pj}l_j$  і  $L_{\text{В}ip} = n_{ip}l_i$  – відповідно в  $n_{pj}$  і в  $n_{ip}$  його одиниць поза рівня  $p$ , на рівнях  $j$  й  $i$ . Доданки в рівнянні (2) пояснюють втрати (поповнення) об'єкта через значення  $L_{\text{П}ij} = n_{ij}l_j$  і  $L_{\text{В}ij} = n_{ij}l_i$  ознаки, аналогічно вимірюваної в  $n_{ij}$  його одиниць на рівнях  $j$  й  $i$  відповідно. На відміну від величин  $\Delta L_p^{(ij)}$  і  $\Delta L_{ij}^{(p)}$ , знак першої з яких залежить від співвідношення чисельності одиниць, прибулих на опорний рівень і вибулих з нього, а другої, крім того, від співвідношення рівневих значень ознаки, вимірюваної в цих одиниць, і незалежно від напрямку їх пересування обидві ці величини можуть характеризуватися як втрати (від'ємне сальдо) або поповнення (додатне сальдо) об'єкта, знак і відповідний зміст величини  $\Delta L_{ij}$  повністю визначається напрямом пересування  $n_{ij}$  рухомих одиниць об'єкта, тобто знаком різниці  $(l_j - l_i)$ . «Нульове» сальдо свідчить про те, що сукупні втрати компенсуються сукупним поповненням об'єкта щодо ознаки, вимірюваної в його одиницях.

Якщо складові балансу, з яких побудовано абсолютне сальдо пересування, порівнювати між собою не через віднімання, а через ділення, то сформований таким чином балансовий показник являє собою відносне сальдо пересування, яке характеризує в скільки разів відрізняються одне від одного сукупні значення ознаки, вимірюваної на тому чи іншому рівні (поза ним) у прибулих і вибулих одиниць об'єкта, які представляють порівнювані категорії пересування. Як і абсолютне, відносне сальдо пересування може набувати будь-яких значень, а ситуація, коли воно дорівнює +1, еквівалентна «нульовому» абсолютному сальдо.

Крім абсолютного сальдо, яке представлено «чистим» пересуванням одиниць об'єкта на рівні або поза ним, мають місце аналогічні видові конструкції показників міжрівневого обороту, які характеризують «валове» пересування тих же самих одиниць об'єкта сукупним значенням вимірюваної в них ознаки: в них віднімання має бути замінено на додавання, а в позначенні показника символ різниці « $\Delta$ » і літери «РП» – на символ суми « $\Sigma$ » і літери «РО» відповідно.

Оскільки абсолютні показники сальдо (обороту) представляють чисте (валове) пересування одиниць об'єкта на різних рівнях їх систематизації й, як було показано вище, вони закономірно пов'язані між собою, то співвідносячи їх в тій чи іншій комбінації, так, як це запропоновано в таблиці, можна сформуванати категорію відносних балансових показників пересування – коефіцієнти структури рівневого приросту (обороту).

Коефіцієнт рівневого приросту, оцінюючи структуру втрат (поповнення) об'єкта, характеризується як питома вага скорочення (приросту) ознаки, вимірюваної у станах «до» і «після» на тому чи іншому рівні (залежно від виду коефіцієнта) в його одиниць, представлених у певній кількості на опорному рівні або на всіх рівнях разом у тій чи іншій категорії пересування, в розмірі сальдо пересування, аналогічно вимірюваного в його одиниць, що представляють втрати (поповнення) об'єкта, разом зі згаданими одиницями, більш широким колом учасників пересування, чисельність і склад яких обумовлені видом коефіцієнта.

Коефіцієнт рівневого обороту, оцінюючи структуру обороту одиниць об'єкта, характеризується як питома вага обороту його одиниць, представлених в певній кількості на опорному рівні або на всіх рівнях разом в тій чи іншій категорії пересування з вимірюванням в них ознаки у станах «до» і «після» на тому чи іншому рівні (в залежності від виду коефіцієнта), в обороті, аналогічно представленому, разом зі згаданими одиницями, більш широким колом учасників пересування, чисельність і склад яких обумовлені видом коефіцієнта (визначаються аналогічно коефіцієнтам рівневого приросту, тільки через абсолютні показники обороту).

Коефіцієнти структури завжди більші ніж 0 і не перевищують +1. Сума всіх значень того чи іншого коефіцієнта відповідно до умови нормування завжди дорівнює +1.

Співвідношення абсолютних показників рівневого приросту (в чисельнику дробу) та рівневого обороту (в знаменнику дробу) з однойменних видових категорій, дає специфічну конструкцію балансового показника – коефіцієнт ефективності пересування (сукупного або за напрямом). Він характеризує розмір втрат або поповнення об'єкта, що рівною мірою припадає на кожен одиницю розміру відповідного обороту, на різних рівнях систематизації пересування. Коефіцієнт може набувати будь-яких значень в діапазоні від -1 до +1. Його абсолютне значення залежить від співвідношення значень складових діленого та дільника: він дорівнює нулю за рівновеликих складових, що не дорівнюють нулю (чисельник дорівнює нулю); він є додатним через домінування прибулих над вибулими (чисельник являє поповнення об'єкта); він є від'ємним через домінування вибулих над прибулими (чисельник являє втрати об'єкта); він дорівнює +1 через відсутність відповідних вибулих одиниць і -1 через відсутність відповідних прибулих одиниць. Через відсутність рухомих одиниць, що представляють складові чисельника та знаменника, виникає невизначеність виду «0:0».

У таблиці, крім абсолютних і відносних, представлені середні балансові показники міжрівневого пересування: середнє сальдо пересування та середній рівневий оборот, - визначені в тій чи іншій видовій категорії пересування, сукупного (частинні) або за напрямом (часткові). Кожен із них відповідно характеризує розмір втрат (поповнення) або обороту об'єкта, що рівною мірою припадає на кожен одиницю чистого або валового пересування. Слід зазначити дві важливі особливості у визначенні середніх балансових показників пересування. Перша стосується середніх рівневого ( $\overline{\Delta L}_{iв.}$ ,  $\overline{\Delta L}_{iн.}$ ,  $\overline{\Delta L}_{н. j}$ ,  $\overline{\Delta L}_{в. j}$ ) та групового ( $\overline{\Delta L}_{в. н.}$ ,  $\overline{\Delta L}_{н. в.}$ ) сальдо, що представлені сукупним пересуванням одиниць об'єкта й їх пересуванням навздогін в окремо взятих категоріях «вибуття з рівня» та «прибуття на рівень». Воно є псевдопоказником та не має скінченного значення, тому що знаменник дробу, який його представляє, завжди дорівнює нулю. Останнє пояснюється тим, що зменшуване та від'ємник ( $N_{П(i)н.}$  і  $N_{Вiв.}$ ,  $N_{П(i)в.}$  і  $N_{Вiн.}$ ,  $N_{Пн. j}$  і  $N_{Вв. (j)}$ ),

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

$N_{Пв,j}$  і  $N_{Вн,(j)}$ ,  $N_{Пн}$  і  $N_{Вв}$ ,  $N_{Пв}$  і  $N_{Вн}$ ) знаменника – та ж сама величина чисельності рухомих одиниць об'єкта. Друга особливість стосується абсолютних значень середнього сальдо та середнього обороту. В останнього вони завжди відповідають діапазону вимірюваної ознаки, що не властиво для середнього сальдо.

**Висновки відповідно до статті.** Завдяки моделі міжрівневого балансу, синтезованій раніше в агрегатній формі, вдалося сформулювати категорію агрегованих балансових показників міжрівневого пересування одиниць керованого об'єкта. Вони, разом з показниками рівневої структури об'єкта, її зміни та координації, а також показниками структури, інтенсивності та координації міжрівневого руху одиниць об'єкта, забезпечують всебічну оцінку наслідків і ефективності керуючого впливу. Оцінювання ефективності організації процесів з даними в інформаційних системах передбачає вимірювання величин ресурсних витрат як абсолютних і середніх балансових показників, а відповідні коефіцієнти ефективності визначаються як відносні балансові показники міжрівневого пересування.

**Список використаних джерел**

1. Вандескрик К. Демографический анализ / пер. с фр. Н. Калмыковой. Москва: Академический проект; Гаудеамус, 2005. 272 с.
2. Дубягін О. Б. Модель міжрівневого балансу: агрегатна форма. *Технічні науки та технології*. 2018. № 3 (13). С. 96-104.
3. Ефимова М. Р., Петрова Е. В., Румянцев В. Н. Общая теория статистики: учебник. 2-е изд., испр. и доп. Москва: Инфра-М, 2007. 416 с.
4. Орлов А. И. Прикладная статистика: учебник. Москва: Экзамен, 2006. 671 с.
5. Статистика: підручник / за наук. ред. д-ра екон. наук С. С. Герасименка. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ: КНЕУ, 2000. 467 с.
6. Статистика: учебник / под ред. И. И. Елисейевой. Москва: Высшее образование, 2007. 566 с.
7. Статистика: учеб. пособие / под ред. В. М. Симчеры. Москва: Финансы и статистика, 2009. 368 с.
8. Стеценко С. Г., Швець В. Г. Статистика населения: підручник. Київ: Вища школа, 1993. 463 с.
9. Терехов Л. Л. Экономико-математические методы. Москва: Статистика, 1968. 360 с.
10. Уманець Т. В., Пігарев Ю. Б. Статистика: навч. посіб. Київ: Вікар, 2003. 623 с.

**References**

1. Vandeskrik, K. (2005). *Demograficheskii analiz [Demographic analysis]*. Moscow: Akademicheskii projekt; Gaudeamus [in Russian].
2. Dubiahin, O. B. (2018). *Model mizhrivnevoho balansu: ahrehatna forma [Inter-level balance model: aggregate form]*. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian].
3. Efimova, M. R., Petrova, E. V., Rumiantsev, V. N. (2007). *Obshchaia teoriia statistiki [General theory of statistics]*. Moscow: Infra-M [in Russian].
4. Orlov, A. I. (2006). *Prikladnaia statistika [Applied statistics]*. Moscow: Ekzamen [in Russian].
5. Herasymenko, S. S. (Ed.). (2000). *Statystyka [Statistics]*. Kyiv: KNEU [in Ukrainian].
6. Eliseeva, I. I. (Ed.). (2007). *Statistika [Statistics]*. Moscow: Vysshee obrazovanie [in Russian].
7. Simchera, V. M. (Ed.). (2009). *Statistika [Statistics]*. Moscow: Finansy i statistika [in Russian].
8. Stetsenko, S. H., Shvets, V. H. (1993). *Statystyka naseleennia [Population statistics]*. Kyiv: Vyshcha shkola [in Ukrainian].
9. Terekhov, L. L. (1968). *Ekonomiko-matematicheskie metody [Economic and mathematical methods]*. Moscow: Statistika [in Russian].
10. Umanets, T. V., Pihariiev, Yu. B. (2003). *Statystyka [Statistics]*. Kyiv: Vikar [in Ukrainian].

UDC 311+512

*Alexander Dubyagin, Volodymyr Guryev, Irina Firsova***INTER-LEVEL BALANCE: BALANCE INDICATORS  
OF THE OBJECT UNITS MOVEMENT – AGGREGATE FORM**

**Urgency of the research.** The balance indicators of the inter-level movement of a managed structured object units provide a comprehensive quantitative assessment of the effects of a controlling influence on an object by attribute, measured in the scale of relations.

**Target setting.** Non-aggregated balance indicators proposed previously for characterizing inter-level movement do not represent a possible estimate.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The calculation of non-aggregated balance indicators of inter-level movement is carried out through the values of the number of object's movable units.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Evaluation of the effects of a control action on a structured object that is performed in the values of the measured attribute and is explained by the inter-level movement of units of this object.

**The research objective.** To formulate the balance indicators of movement in the system of the inter-level balance's indices by formulating rules for calculating them in aggregate form.

**The statement of basic materials.** The aggregated balance indicators of inter-level movement are formulated on the basis of its canonical form – inter-leaving substitution, which allows to comprehensively characterize the effects of controlling influence on the object at different levels of their systematization. The result of such systematization is absolute and average balance of movement and level turnover, relative balance of movement, coefficients of the structure of level growth and level turnover, movement efficiency determined in different species categories according to the criteria of “degree of aggregation” and “limits of movement”. They are formulated through the aggregate values of the attribute, measured at one level or another in the moving units of the object, represented in the categories of inter-level movement “arrival” and “extinction”.

**Conclusions.** The proposed balance indicators of inter-level movement are important for the assessment of the impact and effectiveness of the controlling influence on the structured object.

**Keywords:** balance indicators; efficiency of movement; coefficient of structure; inter-level balance; turnover increase; balance. Table: 1. Fig.: 1. References: 10.

**Дубягін Олександр Борисович** – кандидат технічних наук, доцент, м. Чернігів, Україна.

**Dubyagin Alexander** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernigov, Ukraine.

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9512-242X>

**ResearcherID:** G-9774-2014

**Гур'єв Володимир Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, професор кафедри кібербезпеки та математичного моделювання, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Guryev Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Cybersecurity and Mathematical Modeling Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** guryev54@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9507-5408>

**ResearcherID:** G-9807-2016

**Фірсова Ірина Валеріївна** – старший викладач кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Firsova Irina** – Senior Lecturer of Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** i.firsova@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1126-1516>

**ResearcherID:** R-4243-2016

Tatiana Kelemenová

## REPEATABILITY AND VALIDITY OF THE MEASUREMENTS MADE ON TOOLMAKERS MICROSCOPE

**Urgency of the research.** *There are several problems with resulting of measurement result related to validity and repeatability of measurement device. Toolmaker microscope has been verified for these characteristics.*

**Target setting.** *Toolmakers microscope is as target device which is currently used for fast testing of manufactured prototype. Currently, it is necessary to know information about repeatability and validity of obtained results.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Producer did not provide the maximum permissible error MPE, so the aim of this work was to establish the actual MPE for this microscope. Also there is no mention about repeatability of this machine. Normally in accordance with standards, it is required to express results with also with measurement error or uncertainty of measurement.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *The main problem is with expressing of validity and repeatability of measurement process. The minimum number of measurement has been established and also maximum permissible error has been identified. Producer provides own microscope etalon as calibration ruler and multiscale micrometer glass slide for microscope. The question of the validity of these etalons are uninvestigated, because the next research will be focused to this problem.*

**The research objective.** *Too long measurement process will unnecessarily over-price overall costs for measurement process. But insufficient number of measurements will decrease accuracy of measurement and overall uncertainty of measurement. Verification process of microscope has been executed for obtaining the information about maximum error of microscope. This information is also necessary for balance of the uncertainty of measurement made on this microscope.*

**The statement of basic materials.** *The probability distribution of measured values and number of minimum required number of measurement has been obtained from mentioned analysis.*

**Conclusions.** *Validity and repeatability of measurement device bring the information how we can believe to measurement process with specified measurement device. Every measurement device should be verified for these metrological properties. Repeatability obtained for examined microscope shows information about the number of measurement needed for effective measurement from the viewpoint of optimized inaccuracy and also from the viewpoint of economic costs. Measurement process is very expensive, so it is necessary to do economy optimization because of ability to be competitive on the market.*

**Keywords:** *optical microscope; distance; measurement; validity; repeatability.*

**Fig.:** 6. **References:** 14.

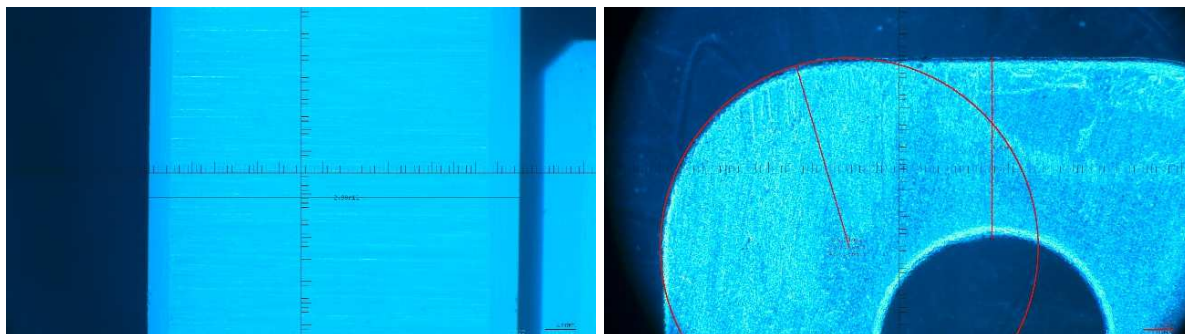
**Introduction.** This work tries to solve problem of validity of measurement which are made on Toolmaker microscope. Validity and repeatability are the most important key properties of measurement devices for evaluation of state of the device. Both repeatability and validity evaluate the quality of research. The quality of measurement process is very important for the making of decisions. If there is no quality of measurement, then it is not possible to make good decision.

Repeatability gives information about consistency of measurement results for multiply repeated measurements of any quantity. Repeatability describes the stability of process of finding of the measurement of measurement quantity. Process of the measurement is influenced by the various errors. Systematic and observational errors can be identified and eliminated. But random errors can be reduced only via using of repeated measurements and making the average from many measurements of quantity. But there is a problem, because if we will increase the number of repeated measurement then also overall price of the measurement will rapidly grows. Consequently, there is a question: "How many measurement is necessary to do for the obtaining of the best repeatability of measurement result?" If random error is minimized then measurement result repeatability is very high. It is necessary to find, how many minimum repeating of measurement is necessary to do. It is possible to find it only with detailed analysis of large count measurements. Optimum number of measurement will say about necessary repeating but it depends also on character of measured quantity. For some cases, another increasing of measurement repeating will not improve repeatability but it will increase only the overall costs of measurement. For these reasons it is a key role to identify optimum number of measurement repeating.

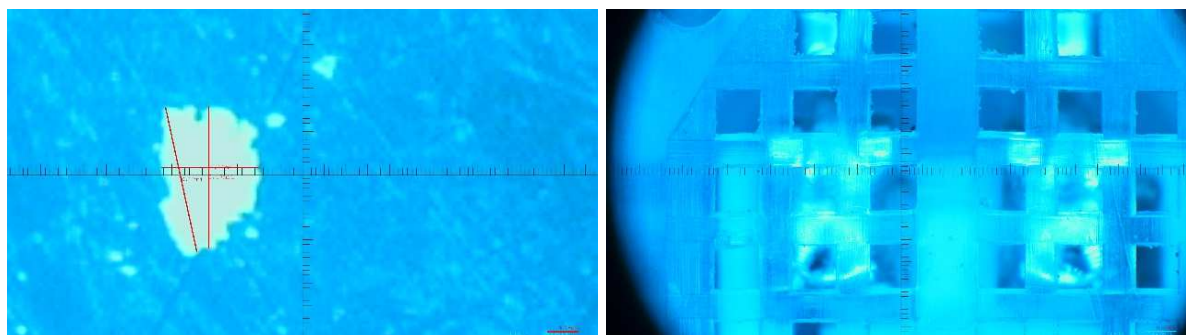
Validity responses on the question about the trustfulness of the measurement results for any measured quantity. If systematic errors are minimized then it is possible to say that we have valid measurement result.

If the measurement is not reliable then also it is not valid.

Toolmaker microscope will be analysed in this paper for the reaching of the validity and repeatability of the measurements on this equipment. The microscope is used mainly for the inspection and measurement of machine and electrical (fig.1) or other type of parts (filters and dust particles) (fig. 2). In compare with coordinate measurement machines (CMM), the microscope allows fast measurement with lower price. Also price of the microscope and overall using costs on the microscope are greatly lower than on CMM machines [1-4]. Here is no mention about the type and producer of microscope because of General Data Protection Regulation.



*Fig. 1. Measurement of mechanical parts using the toolmakers microscope*



*Fig. 2. Measurement of dust particles*

Tested microscope is designed for using in laboratory and also in production hall environment. If it will be used for quality checking of parts, it is necessary periodically to check the repeatability of the microscope [4].

**1. Measurement repeatability of examined toolmakers microscope.** Repeatability of the microscope depends on numbers of measurements. For this reason it is necessary to identify suitable number of measurement. Standard deviation describes variation or disperse of set of measured values. It is a statistical quantity, that is related to average value and it is obtained as square root of the variance through the determination of variation of each value to average value. Variation of measured value is defined as subtraction of measured value from the average value. Every these subtraction is squared and summed. Square root of this sum is searched standard deviation of measured values.

In this work one hundred measurement have been executed for six selected values in all range of microscope. These measured data are analysed via using histograms (fig. 3). Histogram is graphical representation of distribution of measured values. It is as bar graph, which is composed from series of intervals and all values are sorted into these interval with equal size. Bar graph shows a count of values in every interval. Height of bar is proportional to the count or frequency of values, which belong to this interval. Number of interval can be obtained from Sturges equation [5]:

$$k_{hist} \doteq 1 + \log_2 n_M, \quad (1)$$

where  $n_M$  is a number of values.

Scott equation also respects also disperse and span of values [6]:

$$k_{hist} = \frac{R_R}{3.49 \cdot S_X} \cdot n_M^{\frac{1}{3}}, \tag{2}$$

where  $R_R$  is span of measured values,  $S_X$  is standard deviation,  $n_M$  is number of measured values.

Histograms show which data distribution law is valid for these measured values. Figure 3 shows, that we can assume the normal (Gaussian) distribution law for obtained values (fig. 4). It is most frequently used continuous probability distribution of measured data representation. Bell curve is characteristic for this distribution shows that most of values are placed close to average.

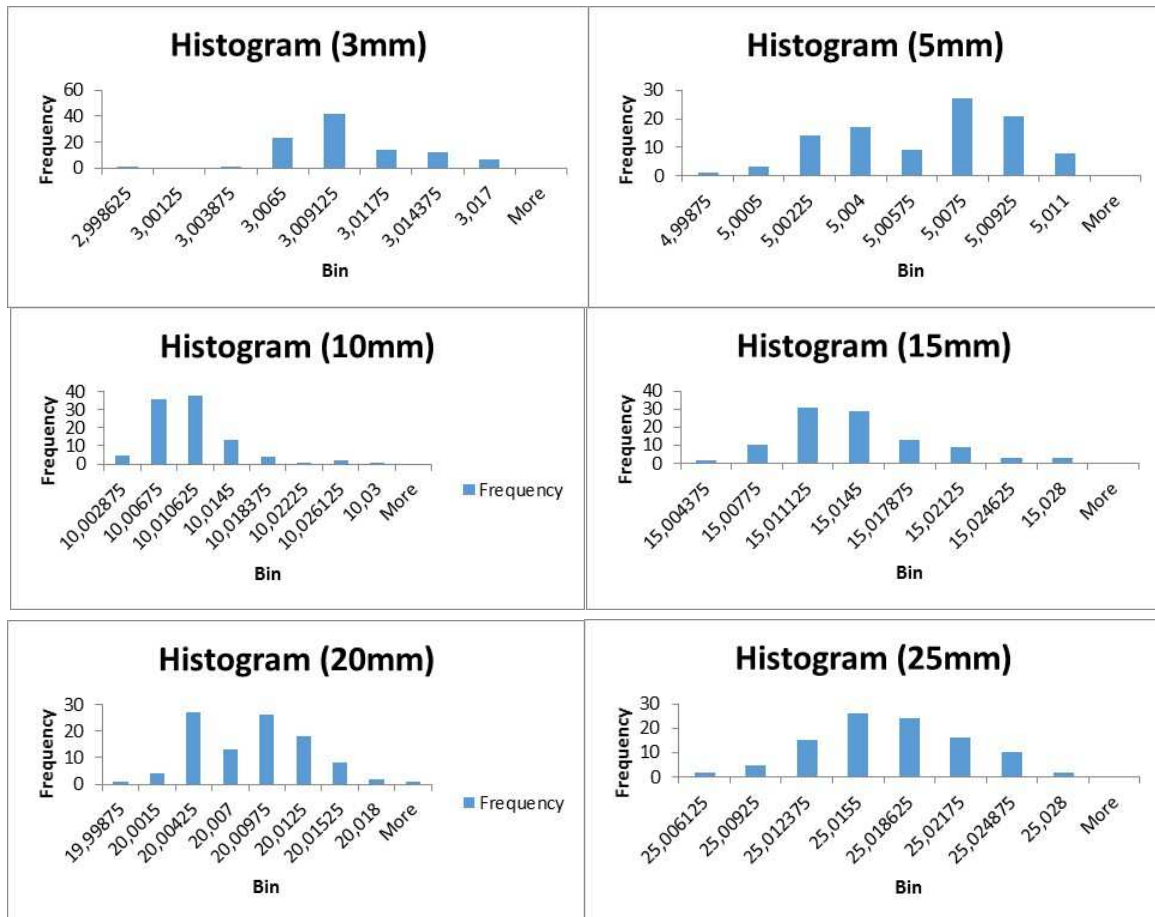


Fig. 3. Histograms for selected dimensions

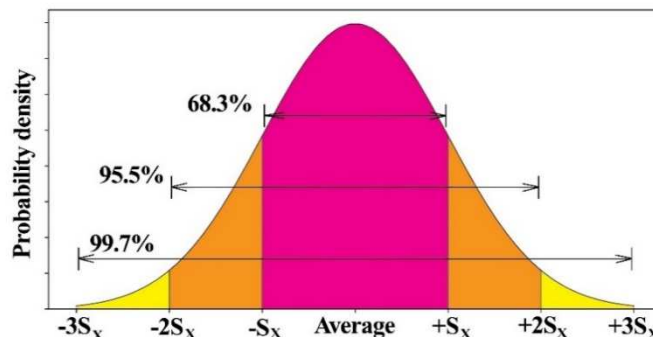


Fig. 4. Probability density for normal Gaussian distribution

Approximately 68% of values are placed inside interval with plus and minus one standard deviation of the average valued. If we assume plus minus two standard deviations interval, then 95% of values become to this interval and if we will take interval plus minus three standard deviations, then 99.7% of values are inside this interval around the average.

Standard deviation from these values have been evaluated (fig. 5). For comparing the cumulative standard deviations are done for first ten measured values, then for first twenty measured values and so on up to the standard deviation of all (hundred) measured values. Consequently, it is possible compare data dispersion when we will add next ten measured values. Figure 5 shows the cumulative standard deviations and it gives answer to question “How many measurement is necessary to execute?” Best repeatability is obtained for 50 measurements. Next measurement do not improve the repeatability of measurement or contribution is only minimally.

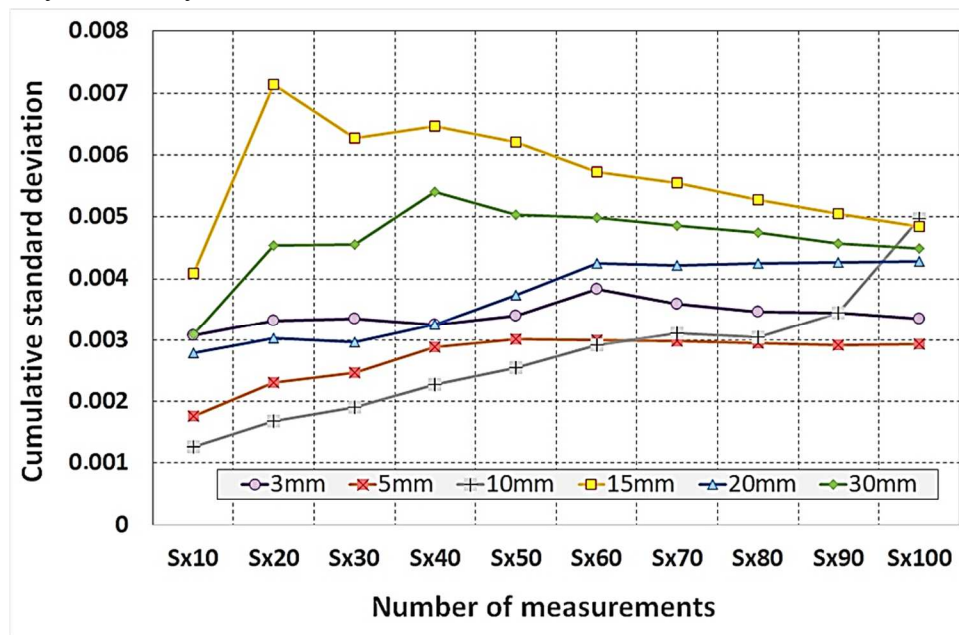


Fig. 5. Cumulative standard deviations for obtained values

**2. Measurement validity of examined toolmakers microscope.** Validity is an ability of measurement device to return quantity value, which we want to measure. It evaluates whether the measurement process returns accurate measurement result and whether the suitable measurement device have been used.

Calibration process returns the answer about ability of measurement device to measure any quantity with requested accuracy. It means that it is need to do comparison of measured value with value represented on etalon gauge. International standards (EALR-R2, ISO 3650) provides necessary steps for calibration process [7, 8].

Maintenance staff often meet with terms as calibration and verification. International Vocabulary of Metrology (VIM) [9] defines verification as process measurement devices is tested if it is able to fulfil requirements as for example maximum permissible error MPE. Verification checking the calibration results or actual state of measuring machine with specified requirements defined by manufacturer or legal metrology organisation or customer which is as end user.

International Vocabulary of Metrology (VIM) [9] also defines term calibration as process where it is obtained relationship between the value from indicator and value obtained from reference material or etalon.

Maximum permissible error MPE obtained by the ISO10360 is also as evaluation of validity of examined microscope. Maximum permissible error is maximum error normally guaranteed by producer of measurement instruments. But there is a many measurement instruments, where producer does not provides this information. Math model from experimental data (fig. 6) has form  $MPE=5+L/2.5$ , where L is measured dimension (mm) and MPE is resulted in  $\mu\text{m}$ .



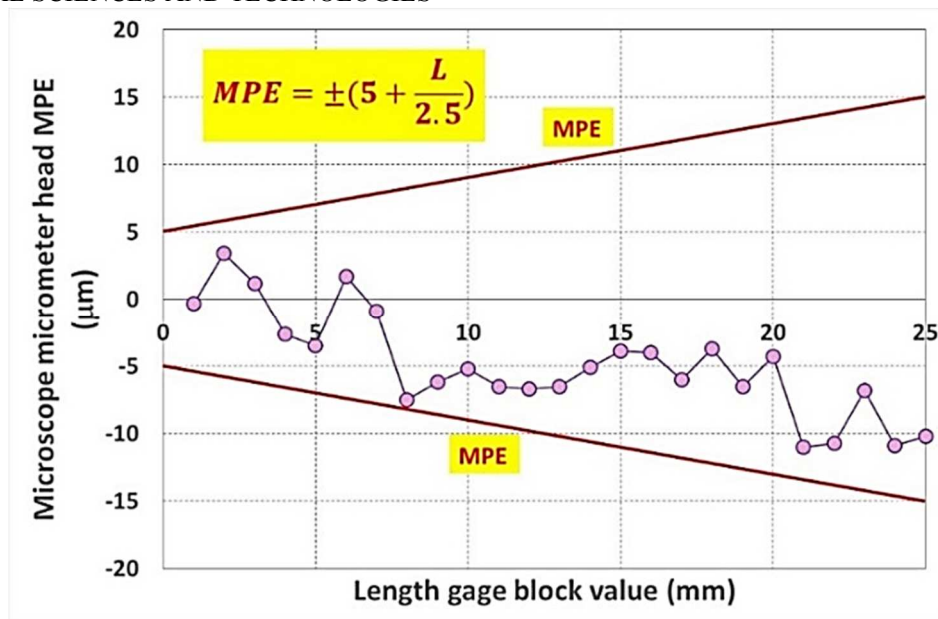


Fig. 6. Maximum permissible error MPE for Toolmaker microscope

**Conclusion.** Validity and repeatability of measurement device bring the information how we can believe to measurement process with specified measurement device. Every measurement device should be verified for these metrological properties. Repeatability obtained for examined microscope shows information about the number of measurement needed for effective measurement from the viewpoint of optimized inaccuracy and also from the viewpoint of economic costs. Measurement process is very expensive, so it is necessary to do economy optimization because of ability to be competitive on the market. Too long measurement process will unnecessarily over-price overall costs for measurement process. But insufficient number of measurements will decrease accuracy of measurement and overall uncertainty of measurement. Verification process of microscope has been executed for obtaining the information about maximum error of microscope. This information is also necessary for balance of the uncertainty of measurement made on this microscope. Producer did not provide the maximum permissible error MPE, so the aim of this work was to establish the actual MPE for this microscope. The evaluation of MPE also shows, that it has downward trend and it can be partially compensated with separation of systematic error from this error balance. The main advantage of this microscope is fast measurement process and also low overall costs in comparing with coordinate measuring machines [10-17].

**Acknowledgement.** *The work has been accomplished under the research project APVV-15-0149, VEGA 1/0224/18, KEGA 006STU-4/2018 financed by the Slovak Ministry of Education.*

**References**

1. Bajpai, S. R., & Bajpai, R. C. (2014). Goodness of Measurement: Reliability and Validity. International Journal of Medical Science and Public Health, 3(2), 112-115.
2. Taylor, J. R. (1999). An Introduction to Error Analysis: The Study of Uncertainties in Physical Measurements. University Science Books.
3. Mohajan, H. (2017). Two Criteria for Good Measurements in Research: Validity and Reliability. Annals of Spiru Haret University, 17(3): 58-82. Munich Personal RePEc Archive. Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/83458/>MPRA Paper No. 83458, posted 24 Dec 2017 08:48 UTC.
4. Kelemenová, T., Dovica, M. (2019) Identification of Maximum Inaccuracy of Toolmakers Microscope. Technical sciences and technology. No. 3 (15), 2019. ISSN 2411-5363 (Online) | ISSN 2519-4569 (Print). DOI: 10.25140/2411-5363-2019-1(15)-258-266.
5. Sturges, H. A. (1926). "The choice of a class interval". J American Statistical Association: 65–66. JSTOR 296550.

6. Scott, D. (1992). *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. New York: John Wiley.
7. EA-4/02 M:2013 *Evaluation of the Uncertainty of Measurement In Calibration*. Publication Reference. European Accreditation Laboratory Committee. September 2013 rev 01. cited August, 8th, 2019. Available online: <https://european-accreditation.org/wp-content/uploads/2018/10/ea-4-02-m-rev01-september-2013.pdf>.
8. ISO 3650:1998(E) *International Standard, "Length standards – Gauge Blocks"*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
9. JCGM 200:2012, International vocabulary of metrology –Basic and general concepts and associated terms(VIM), 3rdEdition (BIPM, 2012).
10. ISO 10360-7:2011 *Geometrical product specifications (GPS) - Acceptance and reverification tests for coordinate measuring machines (CMM) - Part 7: CMMs equipped with imaging probing systems*.
11. JCGM 100 – *Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement* (ISO/IEC Guide 98-3). First edition September 2008. Available online: <http://www.iso.org/sites/JCGM/GUM-JCGM100.htm>; [http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum\\_print.html](http://www.bipm.org/en/publications/guides/gum_print.html).
12. MSA-L/11 Guidelines on the expresion of uncertainty in quantitative testing (In Slovak) (EA - 4/16: 2003). Guidelines on the expresion of uncertainty in quantitative testing. Slovak national accreditation service, SNAS BRATISLAVA, august 2009.
13. MSA-L/12 Expression of the uncertainty of measurement in calibration (In Slovak) (EA-4/02) - Expression of the uncertainty of measurement in calibration, Slovak national accreditation service, SNAS BRATISLAVA, november 2010.
14. Palencar, R., Sopkuliak, P., Palencar, J. et al.: Application of Monte Carlo Method for Evaluation of Uncertainties of ITS-90 by Standard Platinum Resistance Thermometer. *Measurement Science Review*. Volume: 17, Issue: 3 Pages: 108-116 Published: Jun 2017.
15. Wimmer, G., Palenčár, R., Witkovský, V. (2001). *Stochastic models of measurement*. (In Slovak) Graphic Studio Ing. Peter Juriga, Ľ. Fullu 13, 841 05 Bratislava. 1st. ed., 2001. ISBN 80-968449-2-X.
16. Kryachok, S. (2019). Researches of criteria for determination of residual systematic errors in the results of double geodetic measurements unequal accuracy. *Technical sciences and technology*. No. 1 (15), 2019. ISSN 2411-5363 (Online) | ISSN 2519-4569 (Print). DOI:10.25140/2411-5363-2019-1(15)-258-266.
17. Chudý, V., Palenčár, R., Kureková, E., Halaj, M. (1999) Measurement of technical quantities (in Slovak). Edition of STU, 1st. ed., 1999. ISBN 80-227-1275-2.

УДК 004.4

Тетяна Келеменова

## ПОВТОРЮВАНІСТЬ І ДОСТОВІРНІСТЬ ВИМІРЮВАНЬ, ЗРОБЛЕНИХ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МІКРОСКОПА

**Актуальність теми дослідження.** Проблема оцінки повторюваності та достовірності засобів виміральної техніки (ЗВТ) є надзвичайно важливою на даному етапі. Дана робота присвячена оцінці цих характеристик для мікроскопу.

**Постановка проблеми.** Мікроскоп - це пристрій, який використовується для швидкого тестування прототипів. Для достовірності оцінки зразків важливими є метрологічні характеристики цього засобу виміральної техніки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Виробник у технічній документації не надавав гранично допустимую похибку ЗВТ, тому метою даної роботи було встановити фактичне значення похибки для цього мікроскопа. Також відсутня інформація щодо повторюваності для цього ЗВТ.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В якості встановлення метрологічних характеристик досліджуваного мікроскопу виробник забезпечує власний еталон як калібрувальну лінійку. Питання про обґрунтованість цих еталонів не досліджено, отже наступне дослідження буде зосереджено на цій проблемі.

**Постановка завдання.** Основними завданнями, які вирішуються в даній роботі є встановлення економічно обґрунтованої кількості вимірювань, для забезпечення необхідної точності та аналітичного виразу, що характеризуватиме основну інструментальну похибку вимірювання.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено аналіз експериментальних даних вимірювань лінійних розмірів за допомогою оптичного мікроскопу. Побудовані гістограми розподілу результатів вимірювань для об'єктів від 3 до 25 мм. Оцінено залежність невизначеності вимірювань лінійних розмірів за типом A від кількості експериментів. На основі представлених залежностей визначено економічно доцільну кількість спостережень, необхідну для отримання результатів із заданою точністю. На основі аналізу експериментальних даних методами лінійної регресії визначено аналітичний вираз для меж інструментальної похибки в залежності від значення лінійних розмірів.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Висновки відповідно до статті.** На основі експериментальних досліджень визначені характеристики достовірності вимірювань у вигляді аналітичного виразу меж граничної інструментальної похибки. Досліджено повторюваність результатів для цього мікроскопу. Обґрунтовано кількість вимірювань, необхідних для ефективного вимірювання з точки зору оптимізованої точності, а також з точки зору економічних витрат. Процес вимірювання дуже дорогий, тому необхідно здійснювати оптимізацію економічних витрат для можливості бути конкурентоспроможними на ринку.

**Ключові слова:** оптичний мікроскоп; відстань; вимірювання; достовірність; повторюваність.

*Рис.: 6. Бібл: 14.*

**Kelemenova Tatiana** – Associate Professor, PhD in Technical Sciences, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Келеменова Тетяна** – доцент, кандидат технічних наук, Механічний факультет, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** tatiana.kelemenova@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 55260126300

UDC 004.932

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-108-113

Marek Vagaš, Alena Galajdová, Martin Džongov

**PROPOSAL OF A VISION SYSTEM FOR AUTOMATED LINE MPS 500**

**Urgency of the research.** Research needs from this area are based on designing of effective and affordable vision system solution with aim of automation level increasing in content industry 4.0 and should be an advantageous solution mainly for SMEs. In overall, development direction in vision system area pointed to the necessity for innovative technologies implementation that starts from supply chains up to customers.

**Target setting.** Main aim of article is to propose a solution for image processing of selected assembly parts at specified automated line from FESTO company to automate monitoring and evaluating of obtained data together with supporting of educational activities for field: „automation and control of machines and processes“ of our students, at other hand.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Currently, vision systems have enjoyed a great popularity, their implementation into the automated lines grown up and application range more and wider. Supporting from manufacturers is strong, so far, we consider that useful and well-priced solution will be benefit in research area.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Existing realized and implemented solutions are based on solid whole concept from suppliers, starting from connectivity through image processing up to evaluation of situations (pictures, state etc...).

**The research objective.** Purpose of an article is to provide an alternative proposal for implementation of affordable and alternative vision system solution into the selected automated line from FESTO company.

**The statement of basic materials.** Most of realized projects are based on complex vision system solution. Customized and well – priced proposal are rarely, so, we consider, that should be useful to contribute into research community in form of an article from this area.

**Conclusions.** Presented article offer fundamental deployment of vision system into the automated line from company FESTO with aim of intelligence level increasing of this line. Last, but not least, purpose of automated line will be educational training with focus to experimental verification of students knowledges, primarily from pneumatics, compact PLC and vision system, of course.

**Keywords:** camera system; automated line; assembly process; vision system.

Fig.: 4. References: 9.

**Introduction.** Recent development in process automation emphasizes deployment to innovative technologies implementation, starting with supply chains and ending with customers. These efforts also affect assembly process; as a result of which previously used manual inspection methods for various objects were replaced by automated inspection and also measurement have been changed. In the past, trained worker was inspecting product and inspection at automated lines was only performed on only individually selected object or product. The result at output of line was a series of poor quality products, which simply did not pass sufficient control and consequently got to the next stage of processing, respectively in case of final operation, directly to the customer.

However, with increasing of requirements for object quality, demands on measurement and control process have also increased [1]. Older measurement techniques are slow, inconvenient and impractical today. Moreover, they are characterized by lower reliability and unnecessarily increase final price of final product. Therefore, in quality control and similar routine activities, traditional forms of vision control are replaced by machine vision (figure 1) even with higher initial costs. Main advantages of machine vision systems are their speed and accuracy. These systems are able to perform inspection without time loses on at the automated line, which allows quick and transparent checking of all objects without time consuming.



Fig. 1. The example of machine vision at automated line [2]

The concept of machine vision deals with optical inspection at an automated industrial systems. Reliability of this inspection is mainly determined on the devices parameters selection such as camera, lens, lighting, PC and appropriate software use. The application of machine vision is constantly increasing today and in practice it is applied in various application areas. It allows easier and more efficient work control and it can works at high speeds under high precision conditions. With such a vision system it is possible to perform more experimental measurements and also continuously checking of one captured image [3]. Machine vision is used for detecting of object properties such as shape, surface quality or reading characters, bar codes and printing. Typical applications for image processing from vision systems are:

- Checking of presence, colour and shade of object.
- Evaluation of dimensions, shape or description of object.
- Error detection, light intensity measurement, motion and position control.
- Checking of other tasks according to the customer specifications.

The object for vision system monitoring can be practically everything, e.g. a screw on conveyor belt, a biological sample or cookies in boxes, etc. Machine vision is used primarily in automation and it is used for monitoring of quality production, detecting of defective products or control, while ultimate goal with required characteristics is achieved. Vision system scans object and evaluate obtained image by itself or sends scanned image to computer for further processing and assessing of accuracy [4].

**Vision system at automated line.** Proposed intelligent vision system can be characterized as compact device in which a complete machine vision system is integrated. It provides all functions from capturing of first image through processing up to evaluating and sending of results via Internet. It is also capable for solving of demanding tasks and can perform several different inspections simultaneously. It includes a microcomputer, which takes care for an entire camera system. Communication with environment is provided via PROFIBUS, Ethernet or programmable digital inputs and outputs.

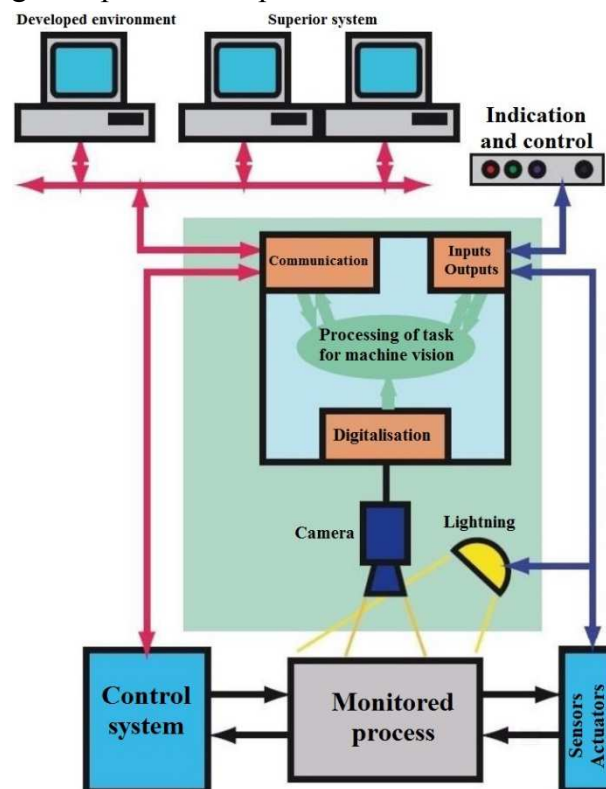













Fig. 2. Implementation of vision system at automated line MPS 500

This vision system is also equipped with a serial interface that allows communication with a compact PLC. The inspection process is created at standard computer with the help of software supplied by manufacturer [5].

This software is then loaded into the vision system memory. The biggest advantage of vision system is increased mechanical resistance in consequence with its deployment in industrial environments. Choosing of specific type of vision system was dependent mainly on affordability, free version of configuration software and transparency of its activities. With aim of this, functional comparison of selected vision system can be seen at table 1.

Table 1

*Functional comparison of selected vision system*

Symbol of tool	Title	Description	BVS-E Advan	BVS-E Univer
	Check brightness	It compares average brightness value in region of interest with setting of minimum and maximum values.	X	X
	Compare contrast	It compares maximum contrast value in region of interest with setting minimum and maximum values.	X	X
	Check contour	It checks if outline (shape) of current part matches outline with reference image.	X	-
	Count edges	It calculates edges in the area of interest and checks if number of edges is between available minimum and maximum.	X	X
	Compare width	It compares width in pixels between two edges and checks if it lies between available minimum and maximum.	X	X
	Pattern detect	It searches matching pattern corresponding to pattern from reference image and counts number of times, where pattern appears in region of interest.	X	X
	Check position	It looks position of first edge in the area of interest and checks if it lies between accessible minimum and maximum.	X	X
	360° Defect finder	It calculates similarity between desired contour and contour of interest. Deviations between them are detected with great accuracy. The contours to be checked can also be selected during parameterization.	-	X
	360° Count Contours	It searches and counts all outlines whose resemblance to the desired outline if is greater than specified value. The position in image and its angle of rotation are output for each contour.	-	X
	Optical character verification	It checks presence and correctness of "learned" characters.	-	X
	Read barcode	It reads following barcodes: Interleaved 2-of-5, Code 39, Code 128, Pharmacode, Codabar, EAN 8, EAN 13, UPC-A, UPC-E.	-	X
	Read datamatrix code	Reads datamatrix Code: Datamatrix ECC 200.	-	X
	Read QR Code	Reads QR codes and Micro-QR codes.	-	X

Since the task is to select an economical advantageous vision system, the lower price for BVS-E type is an important factor in selection of system. However, it is also necessary to take into account functions of compared vision systems, their usability for deployment to the MPS

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

500 automated line and possibility of future exploitation in education of students in laboratory, where Festo MPS 500 automated line is located [6].

Selected vision system has integrated evaluation electronics, illuminator and two digital outputs. It combines functions of BVS-E Ident and BVS-E Advanced vision systems into the single device, which greatly simplifies spare parts supply and allows it for using of almost any inspection task. The result of inspection is signalized by two states (OK and an Error). This signal is transmitted via digital outputs, Ethernet or RS-232 interface. Universal vision system can locate and verify up to 40 barcodes per second, regardless of their position. Collected data from reading codes are transmitted through interface for further processing (image, shape, etc.). Thanks to the Optical Character Verification (OCV) function, we are able to verify printed letters and numbers of selected vision systems to obtain information on the batch or object expiration date.



Fig. 3. Chosen vision system BVS-E Universal from Balluff Company [7]

This vision system comes with different lens versions. One of the latest innovations is the compatibility with infrared light. The wavelength of integrated light is shifted from original 630nm to the new limit of 870nm, which is classified as invisible to human eye that will certainly be appreciated by any employee working near a similar facility. A standard feature is an integrated light filter that prevents ambient light from affecting of unit control quality and thereby increasing process reliability [8]. Power supply and peripherals of vision system are connected with two proven standard industrial M12 connectors. Table 2 shows technical specification of vision system.

Table 2

Technical specification of BVS-E Universal vision system

Camera system code	BVS UR-3-001-E
Picture sensor	CMOS - monochromatic
Resolution of sensor	640x480
Object lens	8 mm
Working range	50-1000 mm
Vision field	24x18 – 480x360 mm
LED colour, wavelength	Red, 633 nm
Voltage Us	24 V DC ±10%
Current with no load, Io	Max. 200 mA pri 24 V DC
Switching outputs	3x PNP - Transistor
Digital inputs	1x Trigger, 1 x Select
Interface for parameter setting	1x M12 4-pin – Ethernet 10/100 Base T

**Automated line MPS 500.** This automated line from FESTO Company introduce a comprehensive solution for automation of assembly process, both for educational purposes and for scientific and research activities. It contains many input and output devices and actuators, what makes it an ideal training place for engineers and technicians from industry. It is designed to cover many technical possibilities related to the issue of modern automated lines that are usually used in industry, see figure 4. The automated line consists of 5 stations: 1 - distribution and testing station, 2 - process station, 3 - assembly station with robot, 4 - handling and sorting station, 5 - transport system.

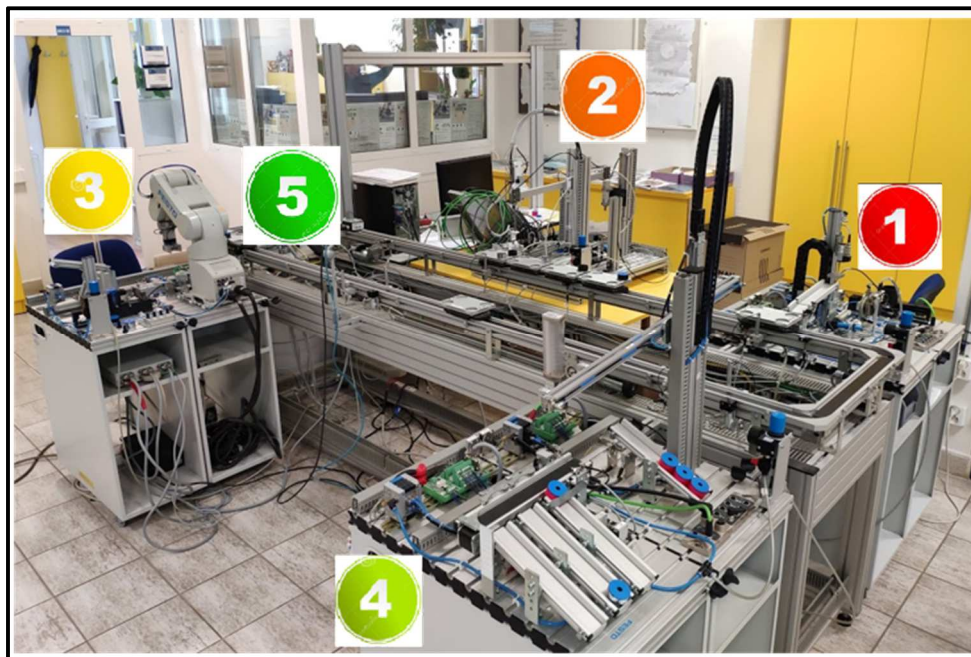


Fig. 4. Automated line MPS 500 at Department of automation and human machine interactions, TUKE:

1 - distribution and testing station; 2 - process station; 3 - assembly station with robot; 4 - handling and sorting station; 5 - transport system

Automated line verifies basic principles of pneumatic and electrical systems, their control and mutual communication between individual stations. Thanks to the Mitsubishi RV-2AJ robot station, it is also possible to focus on the basics from standard industrial robots programming. The main advantage of MPS 500 line is its modular concept. Line configuration uses all available stations; its centre is a conveyor belt at rectangular ground plan [9].

**Conclusions.** The installation of a vision system on an automated line MPS 500 assumes object recognition and subsequent signaling on light beacon. Solution assumes connection with a compact PLC from Siemens. From a constructional perspective, system is coupled to the respective rack at corresponding height above the line. Initial testing showed a poor scanning speed of vision system. Regarding to this situation, we decide to scan objects in a static position with help of pneumatic piston to stop the movement.

**Acknowledgement.** This work has been supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19 - Research and design of algorithms and systems for the fusion of heterogeneous data in multisensor architectures.

### References

1. Takács G., Vachálek J., Rohaľ-Ilkiv B. (2014). Identifikácia sústav. In: *Nakladateľstvo STU*. 281s. ISBN 978-80-227-4288-7.
2. More information about machine vision at automated line is available at followed website: <https://www.vistalink.eu/cognex-sight>.
3. Sukop M., Hajduk M., Vagaš M. (2014). Transferring image processing algorithms on application with multi arm robot and mobile phone. In: *Robotics in Alpe-Adria-Danube Region*. 23rd International Conference: September 3 - 5, Smolenice Castle, Slovakia. Bratislava: STU, S. 1-6. ISBN 978-80-227-4219-1.
4. Sukop M., Hajduk M., Semjon, J., Jánoš R., Varga J., Vagaš M. (2016) Measurement of weight of objects without affecting the handling algorithm. In: *International Journal of Advanced Robotic Systems*. Vol. 13 no. 5, p. 14-19. ISSN 1729-8814.
5. Baláž V., Vagaš M., Semjon J., Rusnák R.: Camera system of industrial robots (2016). In: *Applied Mechanics and Materials: Automation and Robotics in Production Engineering*. Switzerland: TTP, Vol. 844, p. 68-74. ISBN 978-3-03835-702-5, ISSN 1660-9336.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Onofrejová D., Onofrej P., Šimšík D. (2014) Model of Production Environment Controlled With Intelligent In: *Procedia Engineering: Modelling of Mechanical and Mechatronic Systems MMaMS 2014*: 25th-27th November 2014, High Tatras, Slovakia. No. 96, p. 330-337. ISSN 1877-7058.

7. More information about chosen vision system at automated line is available at: <https://www.balluff.com/local/us/productfinder/product/?key=BVS001F#>.

8. Dhillon B.S. Reliability, Quality and Safety for Engineers (2019). In: CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC, 238 pages, ISBN 9780367393601.

9. Timanik V. (2019). Experimentálne overovanie implementácie. In: *Robotics and Manufacturing Systems*. Lublin University of Technology, p. 39-46. ISBN 978-83-7947-104-1.

УДК 004.932

Марек Вагаш, Алена Галайдова, Мартин Дžонгов

## ПРОПОЗИЦІЯ СИСТЕМИ МАШИННОГО ЗОРУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ MPS 500

**Актуальність теми дослідження.** Потреби в галузі контролю якості виробів ґрунтуються на розробці ефективного та доступного за ціною варіанту системи машинного зору з метою підвищення рівня автоматизації концентру в індустрії 4.0. Це має бути вигідним рішенням переважно для малих та середніх підприємств. Загалом напрямком розвитку в області систем машинного зору вказувало на необхідність впровадження інноваційних технологій, починаючи з ланцюгів постачання виробів споживачам.

**Постановка проблеми.** Головною метою статті є пропозиція рішення для обробки зображень вибраних складальних деталей на заданій автоматизованій лінії від компанії FESTO для автоматизації моніторингу та оцінки отриманих даних разом з підтримкою освітньої діяльності в галузі «автоматизація та управління машинами і процесами» для наших студентів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В даний час системи машинного зору користуються великою популярністю, а їх впровадження в автоматизовані лінії та області використання постійно розширюються. Спостерігається значна підтримка з боку виробників, щодо питань дослідження різноманітних рішень у даному напрямку.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Існуючі реалізовані рішення базуються на цілісній концепції від постачальників, у яку входить обробка зображень та цілісна оцінка ситуацій (загальний вигляд, стан тощо).

**Постановка завдання.** Метою статті є надання пропозиції щодо впровадження доступної та альтернативної системи машинного зору у вибрану автоматизовану лінію від компанії FESTO.

**Виклад основного матеріалу.** Більшість реалізованих проектів ґрунтуються на комплексному рішенні системи машинного зору. Індивідуальні та недорогі пропозиції систем машинного зору зустрічаються досить рідко, тому дослідження особливостей їх використання та аналізу стану виробів будуть корисними для науковців в цій галузі.

**Висновки відповідно до статті.** Представлена стаття пропонує проект системи машинного зору для автоматизованої лінії від компанії FESTO, що з її застосуванням підвищить рівень контролю якості. Крім того, використання запропонованої автоматизованої лінії у навчальному процесі покращить якість засвоєння матеріалу студентами та дозволить проводити експериментальну перевірку їх знань, насамперед, з пневматики, компактних ПЛК та систем машинного зору.

**Ключові слова:** система камер; автоматизована лінія; процес складання; система машинного зору.

Рис.: 4. Бібл.: 9.

**Vagas Marek** – Associate Professor, PhD in Technical Sciences, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of automation and human machine interactions (9 Letna Str., 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Марек Вагаш** – доцент, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** marek.vagas@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 55014596100

**Alena Galajdová** – Doctor of Technical Sciences, associate professor, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of automation and human machine interactions (9 Letna Str., 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Алена Галайдова** – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200, Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** alena.galajdova@tuke.sk

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0128-4191>

**Scopus Author ID:** 6506796741

**Martin Džongov** – Engineer, PhD student, Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Department of automation and human machine interactions (9 Letna Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Мартин Дžонгов** – інженер, аспірант, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200, Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** martin@dzongov.sk

## РОЗДІЛ III. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-114-120

Michal Kelemen

### EXPERIMENTAL IDENTIFICATION OF SENSITIVITY OF TILT SENSOR

**Urgency of the research.** Robots and vehicles which locomote on high slope ground has tendency to overturning and they lost stability during the locomotion. The problem also occurs in area of automotive industry.

**Target setting.** All vehicles moving on the rough and inclined ground has a problem with stability. Emergency system for warning before dangerous tilt angle can be mounted inside the vehicles and robots as prevention of side overturning.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The problem is to find the reliable sensor for detection of dangerous tilt angle. Task is to identify the sensor properties as sensitivity, zero shift and also uncertainty of measurement. Before using it is necessary to identify sensor properties.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The questions of the filtering of data acquisition by tilt angle sensor are uninvestigated, because the next research will be focused to this topic.

**The research objective.** Sine bar is used for verification and testing of tilt sensor. Sine bar angle is adjusted using the parallel length gauge blocks. Sensor reacts to the changed tilt angle proportionally with pulse width on output pulse width signal. Indication of sensed data is made via using the microcontroller and LCD display. Also all calculations are executed inside the microcontroller.

**The statement of basic materials.** The tilt sensor can be mounted inside the problematic vehicles to detect dangerous tilt angle and also automatic system for change the center of gravity position can be designed. The system will compensate the dangerous tilt angle.

**Conclusions.** Evaluated uncertainties are related to overall sensing system and not only for sensor. Only sensor alone cannot be tested, because the sensor has no indication module. Expanded uncertainty of the system for measurement of tilt has been obtained and it is value should be taken into account before the sensor using.

**Keywords:** Mobile robot; locomotion; pipe; cleaning; parallelogram; chimney.

Fig.: 8. References: 17.

**Introduction.** Service robots use a various sensors for detecting of internal state quantities and also quantities of outside world. On the base of these sensors data, control system of robot reacts to any situation. Tilt sensor can be used for the measurement of inclination of robot body as prevention of stability lost. It can be used for wheeled, tracked and also legged robots [1-10].

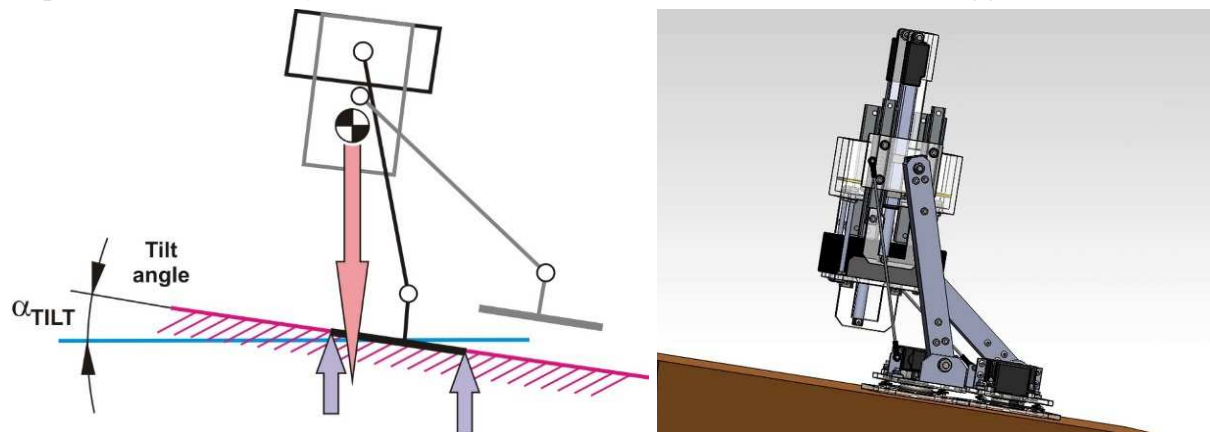


Fig. 1. Tilt stability of legged robot

Off-road vehicles also locomote on inclined ground and in this situation also they can lost stability and overturning of vehicle can occurs. Sideways overturning has to be checked. Also the tilt sensor can be used for monitoring of actual tilt of vehicle.

Analysis of stability needs to know the position of center of gravity of vehicle (CoG). Center of gravity Vehicle will roll over in case when the center of gravity is placed outside of its base of stability. Base of stability is an area between points, where vehicle has contact with ground.

Roll-over protection system can be installed in vehicle as prevention of sideway stability lost. System includes the sensors for detection of dangerous vehicle tilting.

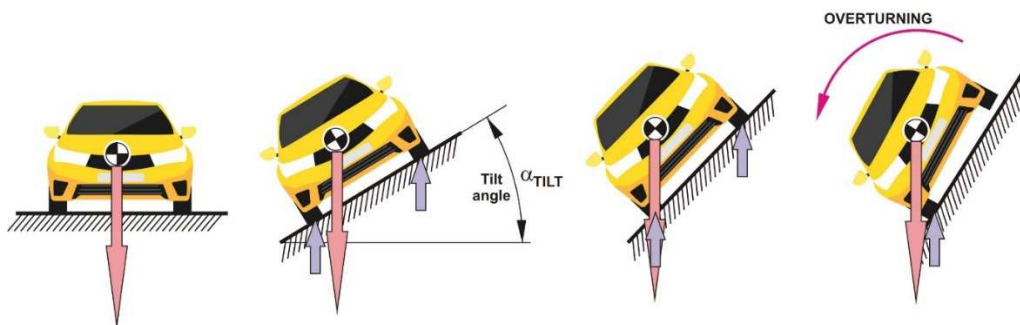


Fig. 2. Sideway stability of vehicle

Actually there are several used sensors for this purposes which uses mechanical parts as pendulum with inertial mass or ball system, which has frequently malfunction and limited life. This work explored the using of sensor without any mechanical parts. Main contribution of this work is verifying of usability of the proposed system for the tilt measurement.

The paper deals with testing of tilt sensor probably useful for the roll-over protection system. The precision of the sensor system should be known, because of evaluation, how we can believe to the sensing system. Using of the unreliable sensor will cause the vehicle accident [11-17].

**1. Tilt sensor principle.** Tilt sensor is working on principle based on heat temperature array (fig. 3). It includes heat chamber with source of heat in the middle of chamber and four temperature sensors place in corners of the chamber.

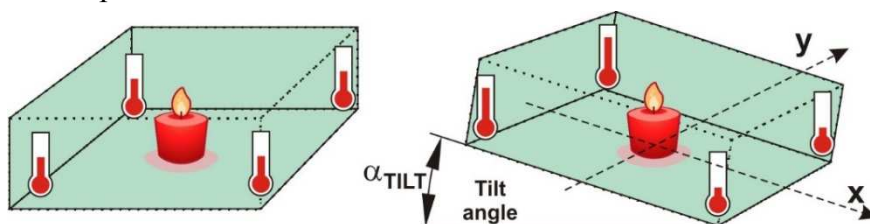


Fig. 3. Heat temperature array chamber of sensor

If sensor is in horizontal position in both axes, then all four sensors will detect equal temperature. If sensor is tilted, then measured temperatures differ in accordance with tilt angle. Tilt angle in both axes can be calculated from measured temperatures. Output quantity is pulse with modulation signal, which represents the searched tilt angle. The sensor is able to obtain tilt angle in both axes X and Y and also there are independent two pulse with modulation signals for tilt angles. Duty cycle of pulse with modulation signal changes linearly with tilt angle in both axes.

The sensor is produced via using the MEMS technology and there is no moving parts inside the sensor, so the sensor has better resistibility against the damaging.

The technology used for producing does not enable to produce tilt sensors with equal properties (sensitivity, zero shift etc.). For this reason it is necessary to identify the sensitivity of each sensor to obtain maximum accuracy of measurement.

Output signal (fig. 4) which is on sensor output is rectangular pulse with modulated signal with constant period  $T$  and duty cycle  $D$  is holding the information about tilt angle. Consequently, there is a need to measure of duration time logical high state  $t_H$ .

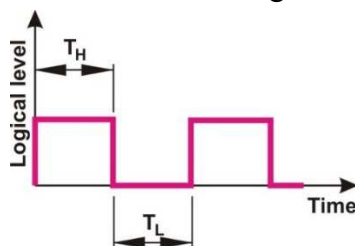


Fig. 4. Output signal from tilt sensor

Producer of sensor provides the math model for tilt angle measurement  $\alpha_{TILT}$ :

$$\alpha_{TILT} = \arcsin\left(\frac{t_H - 5}{C_S}\right), \quad [18] \quad (1)$$

where  $t_H$  is duration time of logical high state in pulse with modulation signal (ms).

$C_S$  is a sensitivity of sensor and producer provides only an interval of possible values of sensitivity. For accurate measurement, it is necessary to experimentally identify the value of sensor sensitivity.

**2. Experimental identification of sensor sensitivity.** Experimental system (fig. 5) has been built for this purpose. It consist of sine bar and parallel gauge blocks placed under one end of sine bar. Sine bar has rectangular body fixed on two cylinders at the both ends. Axis distance between the cylinders is known. Top surface of bar is parallel to the line composed through the centres of cylinders. Tilt sensor is placed on top surface of sine bar. Inclination is adjusted via using of suitable parallel gauge length blocks. Tilt angle can be calculated from sine rule in rectangular triangle.

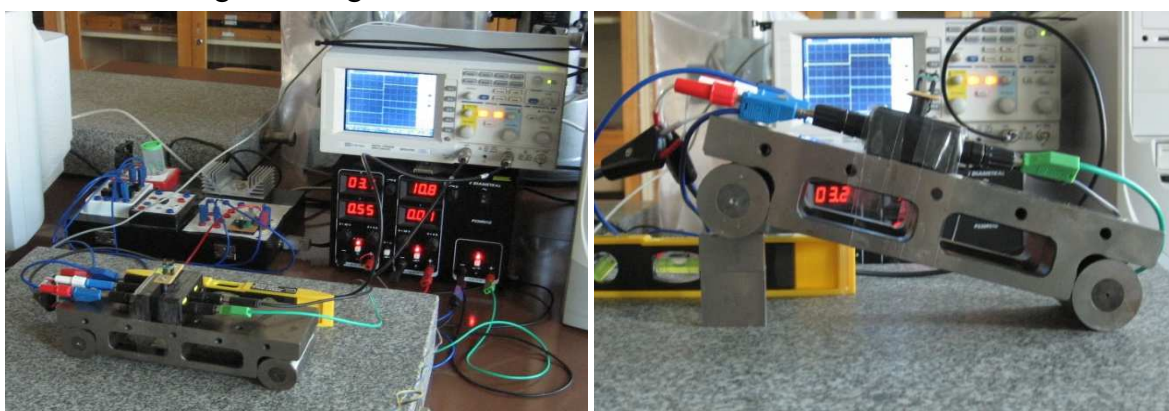


Fig. 5. Experimental system for testing of tilt sensor

Duration time of logical high state (pulse width of pulse modulated signal) is measured via using the oscilloscope and also microcontroller with LCD display which is currently used for this purpose.

From the model (1), it is possible to derive static characteristic model:

$$t_H = C_S \cdot \sin(\alpha_{TILT}) + 5, \quad [18] \quad (3)$$

Figure 6 shows measured data and its linear approximation. After regression analysis the new linear model is obtained.

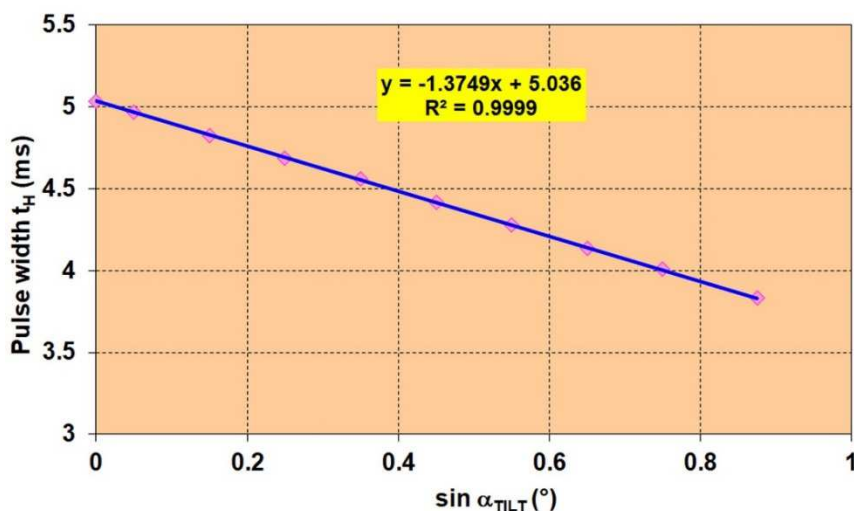


Fig. 6. Experimental data from measurement on sine bar setup

Linear model (fig.6) shows that sensitivity has value  $C_S = -1.3749$  ms and also zero shift has different value  $Z_S = 5.036$  ms. Model (3) includes zero shift with value 5 ms.

From experimental data it is possible to write new modified math model of measurement with corrected coefficients:

$$\alpha_{TILT} = \arcsin\left(\frac{5.036-t_H}{1.3749}\right) \tag{4}$$

Corrected math model will provide more accurate results from measurements. After derivation it can be obtained an uncertainty of coefficients determined on math model (fig. 6):

$$u_{C_S}^2 = \frac{n}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT}))^2 - (\sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT})))^2} \cdot \sigma^2 \tag{5}$$

$$u_{Z_S}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT}))^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT}))^2 - (\sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT})))^2} \cdot \sigma^2 \tag{6}$$

where  $\sigma$  is standard deviation of duration time measurements  $t_H$  and it can be obtained from selected residual dispersion:

$$\sigma_{MSE}^2 = \frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n [t_{Hi} - (C_S \cdot \sin(\alpha_{TILT} + Z_S))] \tag{7}$$

Covariance is a characteristic, which defines the joint variability of our coefficients sensor sensitivity  $C_S$  and sensor zero shift  $Z_S$ :

$$u_{Z_S}^2 = \frac{-\sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT}))}{n \cdot \sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT}))^2 - (\sum_{i=1}^n (\sin(\alpha_{TILT})))^2} \cdot \sigma^2 \tag{8}$$

Obtained model (4) can be implemented into microcontroller for recalculation of measured time into requested tilt angle. Also after verification it is possible to identify standard uncertainty of measurement of tilt angle realised using the tested tilt sensor (fig. 7). Ten measurement have been executed for every values of tilt angle. All standard uncertainties are less than 1° or 0.017 radians.

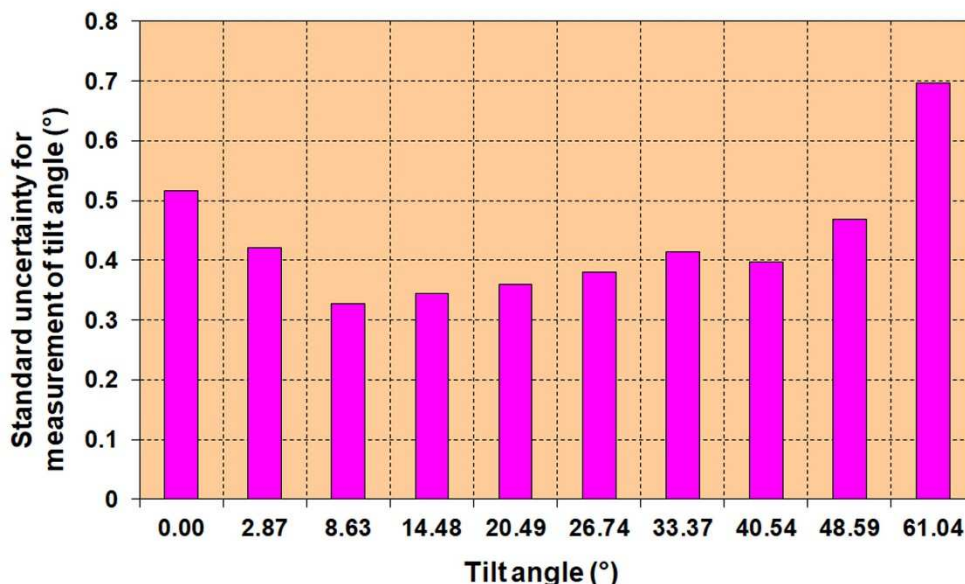


Fig. 7. Standard uncertainty of measurement of tilt angle

Before final evaluation it is necessary to analyse also errors of used sine bar and parallel length gauge blocks (fig. 8). As it is visible, the maximum inaccuracy of sine bar with gauge blocks is 0.5°. Overall uncertainty of tilt angle measurement is affected also with accuracy of sine bar with gauge blocks. For the better results and knowledge of uncertainty of tilt sensor is necessary to use etalon with better accuracy value. Duration time has been measured via using the microcontroller counter and also this inaccuracy should be used for final evaluation.

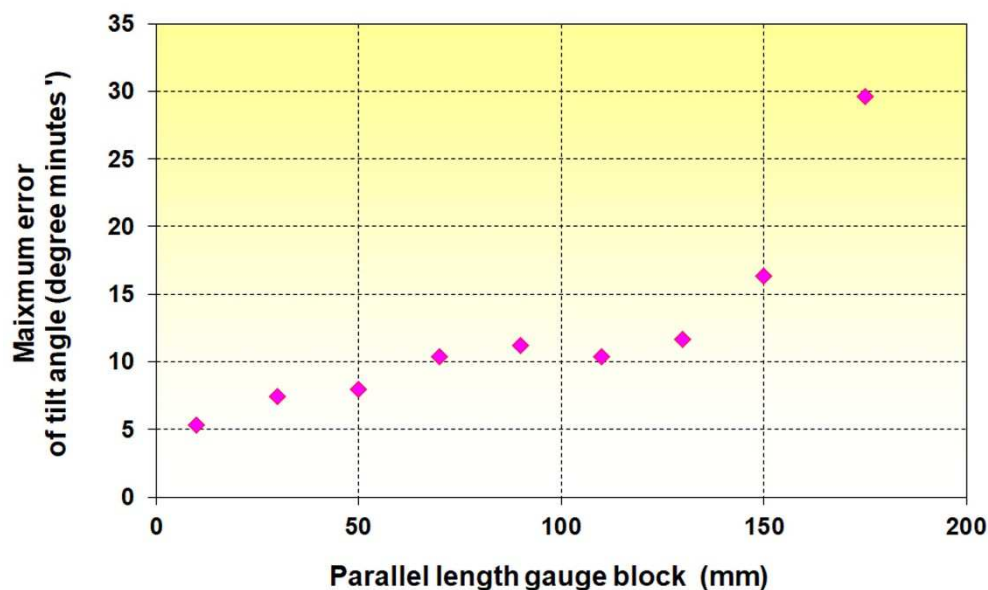


Fig. 8. Maximum inaccuracy of sine bar with parallel length gauge blocks

Expanded uncertainty is calculated and maximum values is  $1.2^\circ$  and it is for rectangular distribution with coverage factor  $\sqrt{3}$  at probability level 95%. This uncertainty also includes contribution from microcontroller. Required expanded uncertainty is under  $2^\circ$ , but it depends on concrete applications.

**Conclusion.** Purpose of this research was to test commercial tilt sensor and identify the sensitivity and zero shift of the sensor. It is necessary to do it, because of variability of the sensor properties produced by manufacturer. Producer provides the interval for sensitivity coefficient in range between the values from 1.18 ms to 1.32 ms. Our sensor sensitivity is out of this range and it confirms the necessity of testing the sensor. Also producer defines zero shift to value 5ms, but for our sensor the values of zero shift is 5.036 ms. These identified coefficients for sensors help to decrease the overall uncertainty of tilt measurement.

Sensor was included into measurement system which also includes microcontroller and LCD display module. It is necessary to say, that also microcontroller brings any contribution overall uncertainty of measurement. Consequently, all evaluated uncertainties are related to overall sensing system and not only for sensor. Only sensor alone cannot be tested, because the sensor has no indication module. Expanded uncertainty of the system for measurement of tilt angle is  $1.2^\circ$  and its value should be taken into account before the sensor using.

**Acknowledgement.** The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project KEGA 018TUKE-4/2018, and VEGA 1/0872/16 supported by Ministry of Education of Slovak Republic.

### References

1. WANG, J., LI, Y. (2008) *Kinematics and tip-over stability analysis for a mobile humanoid robot moving on a slope*. 2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics. Date of Conference: 1-3 Sept. 2008. Conference Location: Qingdao, China. Publisher: IEEE. Print ISBN: 978-1-4244-2502-0. DOI: 10.1109/ICAL.2008.4636575.
2. MARTYNYUK, À. À.; KHOROSHUN, À. S.; CHERNIENKO, À. N. (2014). *Practical Stability of a Moving Robot with Respect to Given Domains*. International Applied Mechanics, Volume 50, Issue 1, pp.79-86. DOI: 10.1007/s10778-014-0613-2.
3. DI, P., HUANG, J., SEKIYAMA, K., HE, S., NAKAGAWA, S., CHEN, F., (2012). *Optimal posture control for stability of intelligent cane robot*. 2012 IEEE RO-MAN: The 21st IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Publisher: IEEE. Date of Conference: 9-13 Sept. 2012. Conference Location: Paris, France. DOI: 10.1109/ROMAN.2012.6343837.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. BESSERON, G., GRAND, Ch., AMAR, F. Ben, BIDAUD, Ph. (2008). *Decoupled control of the high mobility robot Hylos based on a dynamic stability margin*. 2008 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Publisher: IEEE. Date of Conference: 22-26 Sept. 2008. Conference Location: Nice, France. DOI: 10.1109/IROS.2008.4651092.
5. DUCHOŇ, F., HUBINSKÝ, P., HANZEL, J., BABINEC, A., & TÖLGYESSY, M. (2012). Intelligent Vehicles as the Robotic Applications. *Procedia Engineering*, 48 (2012), 105–114. doi.org/10.1016/j.proeng.2012.09.492.
6. BABINEC, A., DEKAN, M., DUCHON, F., et al. (2012). Modifications of VFH navigation methods for mobile robots. *Procedia Engineering*. 48 (2012), pp. 10-14. DOI: 10.1016/j.proeng.2012.09.478.
7. SIMONOVA, A., HARGAS, L., KONIAR, D. (2017). Uses of on-off controller for regulation of higher-order system in comparator mode. *Electrical Engineering*. 99 (4), pp. 1367-1375. DOI: 10.1007/s00202-017-0610-7.
8. GMITERKO, A., KELEMEN, M., KELEMENOVÁ, T., MIKOVÁ, L. (2010). Adaptable Mechatronic Locomotion System. *Acta Mechanica Slovaca*. 14 (2). pp. 102-108.
9. Janos, R. (2016). Mobility of self-reconfiguring systems of robots platform. *Technical sciences and technology*. Scientific journal. №4 (6), 2016, ISSN 2411-5363 (Online) | ISSN 2519-4569 (Print). pp. 166-170.
10. TURYGIN, Y., & BOŽEK, P. (2013). Mechatronic systems maintenance and repair management system. *Transfer of innovations*, 26 (2013). 3-5.
11. REVKO, A., FESENKO, A., (2016). Electronic system of pattern recognition for partly autonomous mobile platform on bengt ilon wheels. *Technical sciences and technology*. Scientific journal. № 1 (3), 2016, ISSN 2411-5363 (Online) | ISSN 2519-4569 (Print). pp. 139-145.
12. BOLOTOV, G., KOLESNIK, D., SHAPOVALOV, O., ZHURAKHOV, O., (2016). Structural features of the modern reserved machines with the wheeled formula 4×4. *Technical sciences and technology*. Scientific journal. №3 (5), 2016. ISSN 2411-5363 (Online) | ISSN 2519-4569 (Print). pp. 85-95.
13. RÉDL, J., VÁLIKOVÁ, V., ANTL, J. (2014): Design of active stability control system of agricultural off-road vehicles. *Res. Agr. Eng.*, 60: S77-S84. <https://doi.org/10.17221/39/2013-RAE>.
14. FASSBENDER, F.R., FERVERS, C.W., HARNISCH, C., (2007). Approaches to predict the vehicle dynamics on soft soil. *Vehicle System Dynamics Supplement*, 27: 173–188.
15. McNAIR, K.M., (2007). MEMS sensor fusion for vehicle dynamic control. In: *Vehicle Dynamic Expo 2007*, May 8–10, 2007, Stuttgart: 1–18.
16. MacDONALD, G.A., (1990). A review of low cost accelerometers for vehicle dynamics. *Sensors and Actuators A: Physical*, 21: 303–307.
17. ŠESTÁK, J., RÉDL, J., MARKOVIČ, M., (2000). Assessment of side slope stability of agricultural vehicles. *Research of Agricultural Engineering*, 46: 53–58.
18. VIRGALA, I., MIKOVÁ, L., SUKOP, M., VAGAS, M., LIPTAK, T., KELEMEN, M., (2017). *Sensors and Transducers*. 1<sup>st</sup> edition. Publisher: Technical University of Kosice, Faculty of Mechanical Engineering. 183 pages. ISBN 978-80-553-2879-9.

УДК 004.4

Келемен Міхал

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ЧУТЛИВОСТІ ДАТЧИКА НАХИЛУ**

**Актуальність теми дослідження.** Роботи та транспортні засоби, які рухаються на крутих схилах, мають тенденцію до перекидання, коли вони втрачають стійкість під час руху. Проблема також виникає в галузі автомобільної промисловості.

**Постановка проблеми.** Усі транспортні засоби, що рухаються по нерівній і похилій землі, мають проблеми зі стабільністю. Аварійна система попередження перед небезпечним кутом нахилу може бути встановлена всередині транспортних засобів та роботів для запобігання бічному перекиданню.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема полягає у пошуку надійного датчика для виявлення небезпечно кута нахилу. Завдання – визначити властивості датчика, такі як чутливість, зсув нуля, а також похибку вимірювання. Перед використанням необхідно визначити властивості датчика.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Питання фільтрації збору даних датчиком кута нахилу не досліджені, тому дане дослідження буде зосереджено на цій темі.

**Постановка завдання.** Для перевірки та випробування датчика нахилу використовується блок для дослідження кута нахилу. Кут повороту самого блоку для дослідження кута нахилу регулюється за допомогою вимірювальних

блоків паралельної довжини. Датчик реагує на змінений кут нахилу пропорційно ширині імпульсу на вихідний сигнал імпульсу. Індикація отриманих даних здійснюється за допомогою мікроконтролера та РК-дисплея. Також всі розрахунки виконуються всередині мікроконтролера.

**Виклад основного матеріалу.** Датчик нахилу може бути встановлений всередині проблемних транспортних засобів для виявлення небезпечного кута нахилу, а також може бути розроблена автоматична система для зміни положення ваги. Система компенсує небезпечний кут нахилу.

**Висновки відповідно до статті.** Оцінені похибки вимірювання, пов'язані не лише з датчиком, але й із загальною системою вимірювання. Датчик окремо не може бути протестований, оскільки він не має модуля індикації. Отримана розширена невизначеність системи для вимірювання нахилу, тому її значення слід враховувати перед використанням датчика.

**Ключові слова:** мобільний робот; пересування; труба; очищення; паралелограм; джерело вогню.

Рис.: 8. Бібл.: 17.

**Kelemen Michal** – professor, PhD in Technical Sciences, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Leant 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Келемен Міхал** – професор, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** michal.kelemen@tuke.sk

**ResearcherID:** J-2845-2013

**Scopus Author ID:** 8396804800



Peter Marcinko, Mikuláš Hajduk, Martin Kočan

## MEASURING CHAIN FOR CHECKING THE VIBRATION OF MECHANICAL PARTS

**Urgency of the research.** Interest in this topic is aroused, because mechanical vibration may damage the machinery or parts of machine. Therefore, it is appropriate to design systems that detect problems. Also these systems can help in the timely replacement of the worn part.

**Target setting.** The main goal is to design a system that can detect in a timely manner a problem that could destroy the device. It is therefore necessary to design systems that can record this.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In recent years, there has been an increase in demand for equipment that can detect a timely problem. Many such devices already exist and are still being upgraded. This industry is called vibrodiagnostics.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** This paper is focused on the analysis of mechanical systems and the creation of a measuring chain.

**The research objective.** The aim of this research is to analyse the mechanical systems and the assembly of the measuring chain. The functionality of the device can be verified on this measuring chain. Whether or not it is suitable for operation. In the future these systems will be upgraded with software that better records the vibrations.

**The statement of basic materials.** The analysis consists of basic information about mechanical systems and sensors. The definition of this problem is described below. Based on this knowledge of mechanical systems, a measurement chain was designed.

**Conclusions.** Our vision is to implement knowledge of mechanical systems not only on a simple fan stator. Problems of vibrodiagnostics are still progressing and increasingly in technical practice. We would continue to do more testing on more complex devices.

**Keywords:** mechanical vibration; mechanical systems; damage; vibrodiagnostics.

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

**Problem definition.** The operation of each machine produces effects that cause the machine to oscillate. Increasing the performance of the device leads to an increase in the level of dynamic effects, which results in unfavorable consequences, namely a reduction in the service life, reliability and, above all, wear of the machine parts of the device. However, the oscillation cannot be completely eliminated and therefore a certain permissible value is prescribed for each device. Compliance with this standard ensures long-term and trouble-free operation of the device. Each machinery should include its continuous vibration diagnostics coupled with monitoring of the operation to enable its immediate control of the operating parameters.

The accuracy of production, technological assembly, used material of its parts, loading, etc. also have a significant influence on the oscillation of the device itself. Analytical, numerical and experimental methods of mechanics, which are part of the analysis of machines and equipment, are used to solve the vibration problem. In many cases, they are the only possible procedure for determining real dynamic parameters. There are already enough publications in this area. The importance of solving this issue is versatile, because the solution of this issue can prevent unnecessary waste of economic resources and, in extreme cases, loss of life [1].

Problems of mechanical systems and their oscillations, therefore the Fig.1 shows the distribution of oscillating processes. The distribution is given by STN ISO 2014 and in this standard vibration is understood to be a change in the time value of the defining quantity of the vibration that expresses the movement or position of the mechanical system when the defining quantity is alternately greater or less than a certain average or reference value. The aim of the research is to get acquainted with the possibilities of vibrodiagnostics. To accomplish the goal there were such tasks. To describe the Fourier transformation and assemble the measurement chain [2].

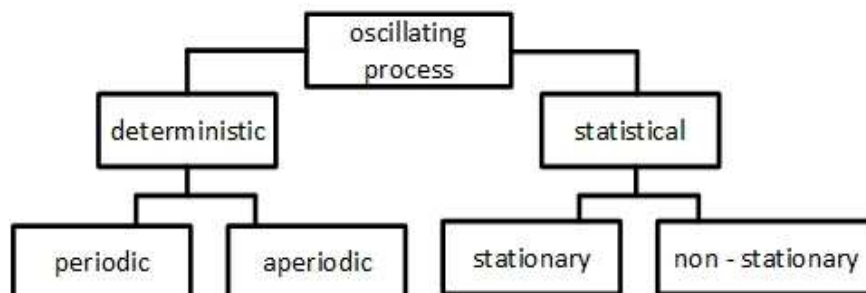


Fig. 1. Oscillating processes

**Sensors for measuring mechanical vibration.** A measuring device is a set of instruments that works by obtaining at its output information  $y(t)$  about the time course of the quantity  $x(t)$  that acts on the input of this device. In order to obtain complete information about the measured quantity, it is necessary to know the transmission properties of the measuring device used (e.g. sensitivity, working range, linearity, etc.) [3].

At Fig. 2 is a block diagram of a measuring device for measuring mechanical vibration. Transmitter  $I$  transmits mechanical vibration from the measured object to the sensor. An example of such a transfer member is e.g. clamp for fastening the sensor to the measured object, glued connection of the sensor to the object, etc. The sensor contains a detecting element that determines the physical nature of the sensor output signal [4].

Sensors:

- absolute and relative,
- touch and non-touch,
- mechanical,
- hydraulic,
- pneumatic,
- optical,
- electrical,
- active or passive.

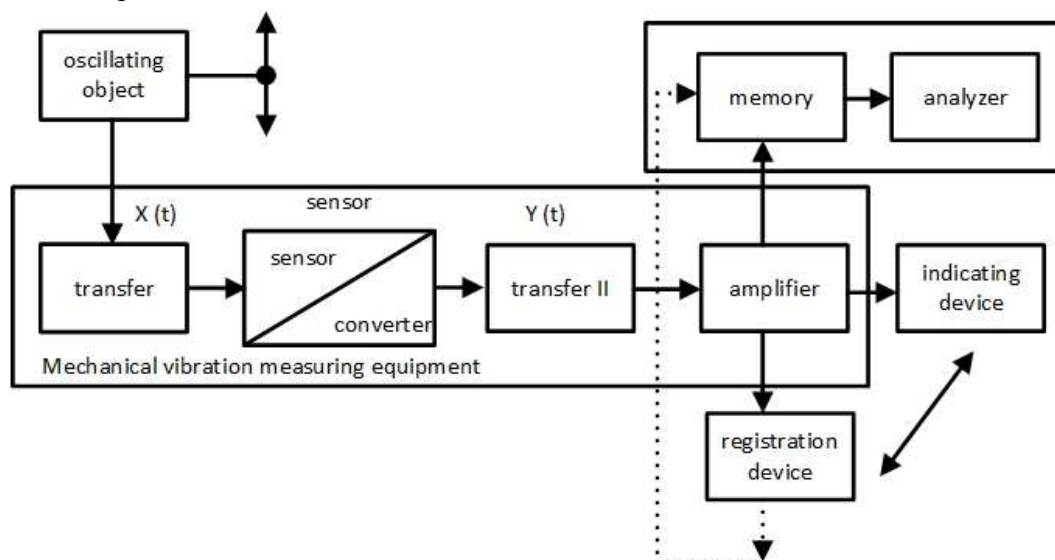


Fig. 2. Measurement block diagram

A transducer is a device that extracts energy from one system and supplies energy in the same or in another form to another system so that the required input energy characteristics are present in the output energy. The converter transforms the quantity obtained by the sensor into another analog physical quantity. The main types of electromechanical converters are:

- piezoelectric, piezoresistive,
- electrostatic transducer,
- magnetostrictive transducer,
- inductive – electronic transducer,
- moving coil transducer.

**Frequency analysis of vibration.** There are methods for analysing the time wave itself and are very effective for some disorders. But this is not the most common way to analyse vibrations. The most commonly used so-called. Frequency analysis. The basic consideration of how to analyse vibrations in more detail is shown at Fig. 3. Each time wave consists of contributions from individual vibrating parts, mostly with different frequencies. Frequency analysis is a tool

that is able to show these individual contributions directly. Vibration diagnostics detects a machine error based on the frequency components that occur in the vibration spectrum. Frequency analysis is performed by Fourier transform (Fourier series decomposition) [5].

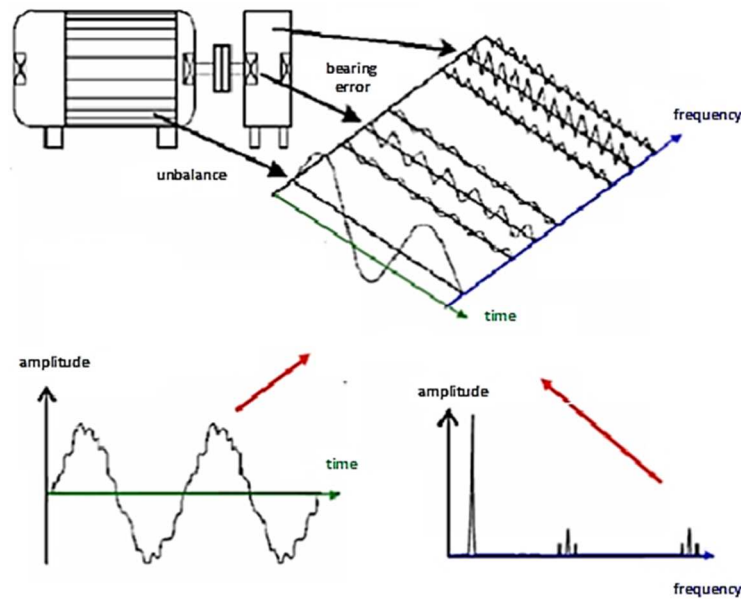


Fig. 3. Principle of frequency analysis

The function  $x(t)$ , which is periodic at time  $T$ , can be expressed as an infinite sequence in the form:

$$x(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)]; \omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (1)$$

This relation means that the original function  $x(t)$  can be composed of infinitely many sinusoidal waveforms that have different amplitudes and their frequencies are multiples of the fundamental frequency  $\omega$ . The coefficients  $a_n$  and  $b_n$  are Fourier or spectral coefficients of the function  $x(t)$  and are calculated from:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(n\omega t) dt \quad (2)$$

$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(n\omega t) dt \quad (3)$$

When working with measured vibration signals, we consider the function to be periodic in the measured interval  $T$ . Current signal analysers do not work with a continuous time wave, but the measured signal passes at the input to the A / D analyser (analog / digital), which records the time wave as a sequence of  $N$  discrete values with regular time intervals in the  $T$  interval is called discretization. The discretized function  $x(t)$ , which is defined on the set  $N$  of individual time moments  $t_k$ , ( $k = 1 \dots N$ ), can be written as a finite Fourier series:

$$x_k (= x(t_k)) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} \left[ a_n \cos\left(\frac{2\pi n t_k}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2\pi n t_k}{T}\right) \right]; k = 1 \dots N \quad (4)$$

Fourier coefficients are often displayed in the form of amplitude  $c_n$  and phase  $\varphi_n$ :

$$c_n (= t_k) = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad (5)$$

$$\varphi_n = \arctg\left(-\frac{b_n}{a_n}\right) \quad (6)$$

$$x_k (= x(t_k)) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{N/2} \left[ c_n \cos\left(\frac{2\pi n t_k}{T} + \varphi_n\right) \right] \quad (7)$$

This form of Fourier transform is called a Discrete Fourier Transform (DFT). The resulting Fourier series, or a set of sinusoidal waveforms from which the original time wave can be

composed, is called the frequency spectrum. Thus, by Fourier transform, we transmit information about vibrations from the time domain where the individual events are mixed to the frequency domain in which each event is represented by a separate sinusoidal waveform corresponding to the frequency (frequency or spectral line) [7].

The basic relationship between sample length  $T$ , the number of discrete values  $N$ , the sample rate  $f_s$  and the range and resolution of the frequency spectrum applies. The range of the spectrum is  $0-f_{max}$ , where  $f_{max}$  is the Nyquist frequency and the line resolution in the spectrum is  $\Delta f$ :

$$\Delta f = \frac{1}{T} = \frac{f_s}{N} \quad (8)$$

$$f_{max} = \frac{f_s}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{N}{T} \quad (9)$$

In current analysers is used algorithm called Fast Fourier Transform (FFT), where  $N$  is the integer power of number 2. In fact, the upper frequency limitation of the spectrum  $f_{max}$  is somewhat reduced from the theoretical value (e.g. for  $N = 2^{11}$ , 1024 frequency lines are not used, but only 800).

The basic principles of vibration diagnostics consist in consistent and correct measurement of mechanical vibration of machines and structures in industrial or laboratory environments. Vibrodiagnostics can be briefly compared to ECG examinations of the human body in health care, even if another physical factor is measured and analysed and, of course, the method of measurement and analysis is applied. However, the objectives of the two different fields are common. In the case of ECG, to determine the health status of a person - in particular the heart as the engine of the human body and in the case of vibrodiagnostics determine the technical condition of the machines, including the various drives, without decommissioning and disassembly [8].

**Realization of the proposed measuring chain.** The object of measurement was a fan, which represented the analysed rotary machine. For measurement, uniaxial acceleration sensors *Brüel&Kjær* 4507B were used, which were applied to the fixed part of the fan at a position above its rotor. Tab. 1 is shown parameters of used sensors for measuring [9].

Table

*Accelerometer parameters*

sensitivity	9,927 mV / ms <sup>-2</sup>
frequency range	0,3 Hz – 6 kHz
measuring range	± 700 ms <sup>-2</sup> peak (± 71 g peak)

The sensors were applied to measure acceleration in three directions: radial - horizontal direction, radial - vertical direction, axial direction, Fig. 4.



*Fig. 4. Sensors on stator of motor*

The sensors were connected to the USB 4431 A / D converter, which was connected to a computer via a USB interface. This type of converter has 4 analog inputs and 1 output. After

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

the wiring of the sensors, the power supply, the converter and the computer, the measurement was made. The proposed chain works and the measurements were performed. The measurements will be processed. At Fig. 5 is shown proposed measuring chain.

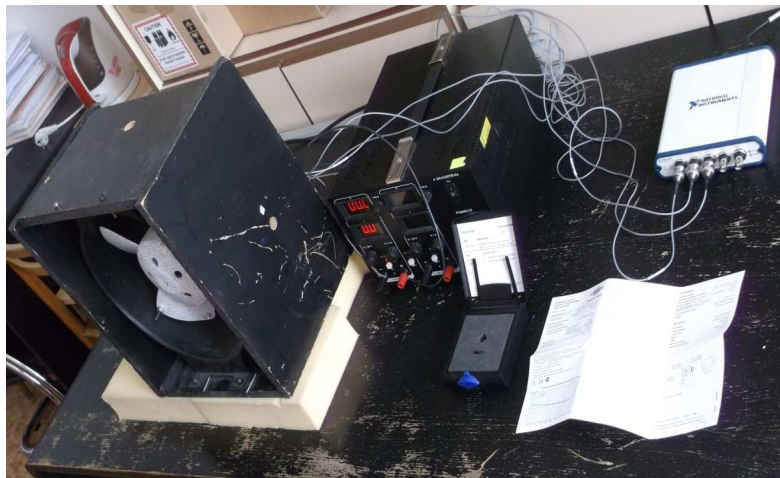


Fig. 5. Measuring chain

**Conclusions.** Based on the described analysis, we became acquainted with the measurement by means of vibrodiagnostics. In the future, we would like to make multiple measurements, using other sensors, on machinery and thus verify the measurement chain in practice. This chain should continuously monitor the oscillations on the devices. For more accurate measurement it is necessary to create data collection. This method could be used to detect machine failure in a timely manner.

**Acknowledgements.** This research was funded by Slovak Grant Agency VEGA 1/0389/18 “Research on kinematically redundant mechanisms”.

### References

1. Marcinko, P., Huňady, R.: *Návrh meracieho reťazca pre kontrolu kmitania mechanických častí strojného zariadenia* (proposal of the measurement chain to check the vibration of mechanical parts of machinery). Bachelor thesis. Technical university of Košice, Košice 2014, 43 pp., (in Slovak).
2. Trebuňa, F., Šimčák, F., Huňady, R.: *Kmitanie a modálna analýza mechanických sústav*. Technická univerzita v Košiciach, Košice 2012, ISBN 978-80-553-1206-4.
3. *Měření vibrací ve vibrodiagnostice*. Retrieved from <http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/40375.pdf>.
4. *Meření vibrací pro diagnostiku opotřebení strojů*. Retrieved from <https://automatizace.hw.cz/mereni-a-regulace/mereni-vibraci-pro-diagnostiku-opotrebeni-stroju.html>.
5. *Základné princípy vibrodiagnostiky a jej prínosy pre prax*. Retrieved from <https://www.atpjournal.sk/buxus/docs/atp%20journal%205%202011%20str%2018-19.pdf>.
6. Bilošová, A., Biloš, J.: *Aplikovaný mechanik jako součást týmu konstruktéru: část Vibrační diagnostika*. VŠB TU Ostrava, 2012.
7. Demetrian, M.: *Fourierove rady a Fourierov integral*. Univerzita Komenského Bratislava, 2012. ISBN 978-80-223-3171-5.
8. *STN ISO 10816-1 Mechnické kmitanie. Hodnotenie kmitania strojov meraním na nerotujúcich častiach*. SÚTN, Bratislava, 1999.
9. *Piezoelectric CCLD accelerometer*. Retrieved from <https://www.bksv.com/en/products/transducers/vibration/Vibration-transducers/accelerometers/4507>.

УДК 621.81

Пітер Марцінко, Мікулаш Гайдук, Мартін Кочан

**ВИМІРЮВАЛЬНИЙ КАНАЛ ДЛЯ ОЦІНКИ ВІБРАЦІЇ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНІКИ**

**Актуальність теми дослідження.** Інтерес до цієї теми підвищений, оскільки механічні вібрації можуть пошкодити машини або деталі машини. Тому доцільно розробити системи, що виявляють ці проблеми. Також ці системи можуть допомогти в своєчасній заміні зношеної деталі.

**Постановка проблеми.** Основна мета - розробити систему, яка зможе вчасно виявити проблему, яка могла б зруйнувати пристрій. Тому необхідно розробити системи, які можуть це реєструвати.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки спостерігається зростання попиту на обладнання, яке може вчасно виявити ці проблеми. Багато таких пристроїв вже існують і все ще оновлюються. Ця галузь називається вібродіагностикою.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Ця стаття присвячена аналізу механічних систем та створенню вимірювального каналу.

**Постановка завдання.** Метою цього дослідження є аналіз механічних систем та складання вимірювального каналу. Функціональність пристрою можна перевірити на цьому вимірювальному каналі. Придатний він для експлуатації чи ні. В майбутньому ці системи будуть модернізовані програмним забезпеченням, яке краще реєструє вібрації.

**Виклад основного матеріалу.** Аналіз складається з основної інформації про механічні системи та датчики. Визначення цієї проблеми описано нижче. На основі цих знань механічних систем був розроблений вимірювальний канал.

**Висновки відповідно до статті.** Наше бачення - впроваджувати знання механічних систем не лише на звичайному вентиляторі. Проблеми вібродіагностики все ще прогресують і все частіше в технічній практиці. Ми будемо продовжувати тестування на більш складних пристроях.

**Ключові слова:** механічні вібрації; механічні системи; пошкодження; вібродіагностика.

Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 9.

**Peter Marcinko** – PhD student, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Пітер Марцінко** – аспірант, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**SCOPUS Author ID:** 57200138054

**E-mail:** peter.marcinko@tuke.sk

**Mikulas Hajduk** – prof., Eng., PhD, Professor, Technical university in Kosice, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Automatization, Mechatronics and Robotics, Department of Robotics, (Komenskeho Park 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Мікулаш Гайдук** – кандидат технічних наук, професор, Технічний університет Кошице, Машинобудівний факультет, Інститут технологій, мехатроніки і робототехніки, факультет робототехніки (Komenskeho Park 8, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Scopus Author ID:** 35826618400

**E-mail:** mikulas.hajduk@tuke.sk

**Martin Kočan** – PhD student, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Мартін Кочан** – аспірант, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** martin.kocan@tuke.sk

Róbert Rákay

**WIRELESS SERVOMOTOR CONTROL FOR REMOTE ACTUATION**

**Urgency of the research.** Actual trends of home and hobby automation focus on implementation solutions to everyday life situations. The main goal is usually to simplify or remotely control a task with low cost devices.

**Target setting.** When designing automation systems of different devices, developers are trying to find the most reliable and effective solution with fulfilling every base requirement.

**Actual scientific researches and issues analysis.** To prepare this paper, different publicly available datasheets and experimental solutions were analyzed as well as conclusions of our previous and other ongoing experiments were used to create the knowledge base about this topic.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There are many different communication solutions and every manufacturer of communication device provides its own solution. This paper is insufficient to describe them all. But creates base for further result comparison with other future solutions of the same task. The proposed solution is not connected to any moving object. In a real application the requirements of torque and system power consumption has to be considered.

**The research objective.** In this article a model of a remote control system is proposed for a home automation, in this article a wireless connection is created to remotely control position of servomotor.

**The statement of basic materials.** To propose a future model of home appliance control system it is necessary to implement the newest communication technologies. Using the new communication protocols such BLE, LoRA or nRF provides good basis to solve this issue.

**Conclusions.** The proposed paper introduces a model wireless remote control system for simple tasks such controlling of lights or dimmers. The tested system provides a good basis for future real life application, however, it needs to be adapted to specific tasks.

**Keywords:** wireless control; home automation; servomotor.

**Fig.:** 6. **Table:** 2. **References:** 8.

**Introduction.** The main task of remote control systems is to operate another devices from a distance. In the past these systems were realized as wired low range teleoperation systems. In current solutions this kind of remote operation is applied only for very hazardous task such as radioactive or explosive environments. The wired systems are replaced with wireless communication and nowadays automated systems are aimed to make everyday life easier and more comfortable for every person in society. This can be reached by creating of different automated microsystems which can replace or help with tasks such as appliance control or opening and closing of objects controlled by electrical devices. [1]

Not every automation task requires connection via Internet and people with temporary or permanent disabilities can use local wirelessly controlled devices. This type of remote control system can be built using wireless communication protocols as:

- Bluetooth, BLE
- ESPNow
- LoRA
- ESPNow
- Other RF based protocols.

Each of these communication tools share the form low to medium range, lower transfer rates and connection limitations. Despite the limitations of the above mentioned protocols, they can be integrated to control lights, blinds and other simple devices. The transferred data doesn't contain any private information and in most of cases they are not time critical too [2-4].

By integrating of electrical actuators we can carry out different functions. For example a servo motor can replace the activity such as door or hatch opening and closing.

Minimal requirement to determine applicability of servo motor is to determine the torque. The torque is a force applied at a right angle to a lever multiplied by its distance from the lever's fulcrum (the length of the lever arm). It means that if we want to lift a 2 kg object, and the lever arm is 2 cm long, we need a 0,4 N·m torque. The SI unit for torque is N·m or kg·m<sup>2</sup>·s<sup>-2</sup>.

For the purpose of an experimental system testing there is no exact task to be controlled remotely, and the devices are tested only as laboratory example. The main goal is to control the position of the servomotor.

The proposed control system consists of a transmitter device and receiver device, which are networked via the nRF24 modules. The input of the system is a potentiometer of 10kOhm, which is directly connected to the analog input of the microcontroller. This voltage value is read and processed to a digital value by the 10-bit ADC integrated to the Arduino. The processed value is then sent to the receiver of the system. The receiver controller has an attached servomotor connected to one of its digital outputs.

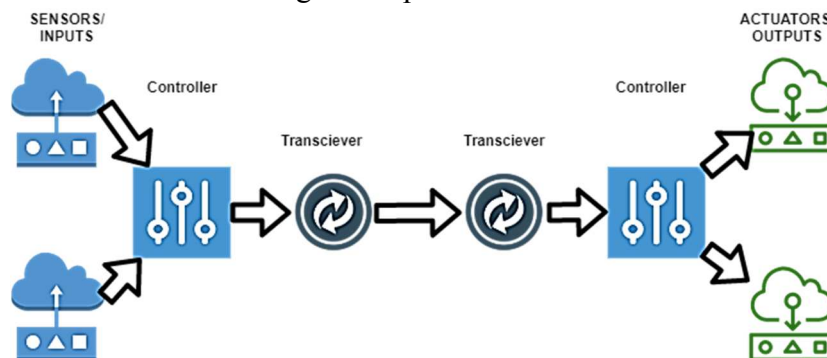


Fig. 1. Proposed remote control system

**nRF24L01 RF module.** This device works as transceiver modules, so each module can send and receive data. The transmission is half-duplex, they can either send or receive data at a time. These modules operate at a frequency of 2.4 GHz (Industrial Science Medical ISM band) with a transfer rate from 250 kbps to 2 Mbps, which is legal in many countries and can be used in industrial and medical applications. With suitable antennas, they can transmit and receive information up to 100 meters between them [5, 6].

The modules work with power supply of 1.9 to 3.6 V and have a consumption of 12mA during a normal operation. This makes the devices very battery friendly for remote system. The module communicates with the controller via SPI protocol.

Most of the module pins are 5V tolerant and can be easily interfaced with the Arduino like microcontrollers. Each module can communicate through 6 “Pipelines”, which means each module can communicate with 6 other modules to transmit or receive data. This makes the module suitable for star and mesh networks of IoT systems.

The module has to be configured within the control program of the connected microcontroller. There are available configurations defining the transfer speed, communication channel, power amplification, message size.

In our case the address was chosen 0, while the communication channel is 115 out of the available 125. The speed can variate from 250 kbps to 2Mbps. The power levels for the radio amplifier are adjustable to MIN, HIGH or MAX. For the maximum range the MAX is recommended but this creates an increased current consumption, so in case of battery powered systems this have to be considered while calculating the battery life.

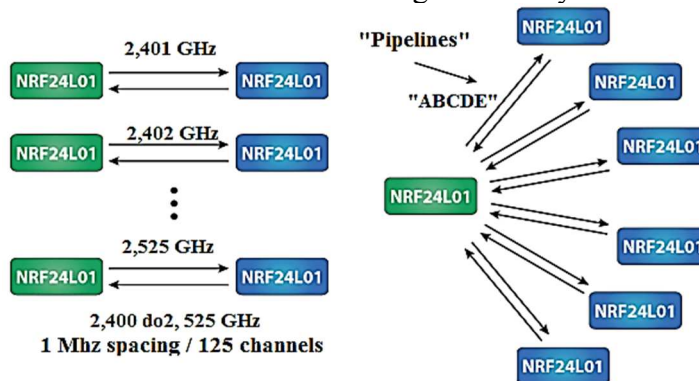


Fig. 2. nRF24L01 Pipelines communication principle



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Arduino UNO R3.** Arduino Uno is a microprocessor board based on ATmega328P. It has 14 digital I / O pins (6 of which can be used as PWM outputs), 6 analog inputs, USB connection, power connector, ICSP header and reset button. It can easily be connected to a computer using a USB cable powered by an AC adapter or a battery [7].

Table 1

*Technical details of ARDUINO UNO REV3*

Microcontroller	ATmega328P
Operating voltage	5V
Input voltage (recommended)	7-12V
Maximum input voltage	6-20V
Number of digital inputs / outputs	14 (6PWM)
Analog inputs	6
Maximum current for Vs / Res	20 mA
Maximum current for 3.3 V input	50 mA
Flash memory	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Operation cycle	16 MHz
Dimensions (Length x Width)	68.6 x 53.4 mm
weight	25 g

To power the pins:

- Vin - input voltage for powering the board or powering peripherals.
- 5 V output pin for peripherals.
- 3V3 - reduced power supply.
- GND grounding pin.
- IOREF - reference voltage pin.

UART TTL (5V) serial communication is available to communicate with other devices. It uses RX and TX pins. In addition to UART, I2C or SPI communication can be used.

For communication with the computer it is possible to use the so-called serial monitor. Using it, we can transfer data to a PC.

**Microservo.** As an example output device the MG90S micro servo motor is used. This servo is suitable for task of remote control such as RC models. The movement of the servo is limited to 180°, or 90° in each direction. The technical characteristic of MG90S is described in the table below [8].

Table 2

*Technical details MG90S*

Weight	<b>13.4 g</b>
Operating voltage	4.8-6 V
Current	10 -250 mA (stall 700mA)
Torque (4.8 V)	0.1765197 Nm
Torque (6 V)	0.2157463 Nm
Operating speed (4.8 V)	0.1 s/60 °
Operating speed (6 V)	0.08 s/60 °
Dead band width	5 μs

**Software.** For programming and configuring the remote control system the Arduino IDE programming environment was used. It is a Java application, created to program different microcontrollers of Arduino and its clones. The main software includes the code editor, compiler, uploader and also tools for serial port monitoring. Every created control software includes the following parts:

- Declaration of variables, used libraries
- Configurations of I/O devices and communication
- Control loop, which will be conducted cyclically.

Figure below shows the programming environment Arduino IDE.

The control software is described with control algorithms below. The control software starts with the declaration of used libraries, which integrates functionalities to work with the connected peripherals as the communication modules and the servomotor. After the needed libraries the variables of the control program are declared. These variables include voltage value from the potentiometer, control value for servo position, communication variables. The next step is to configure the used communication channels and pins on the microcontroller. Finally, the main part of the control software is created, which is cyclically repeated.

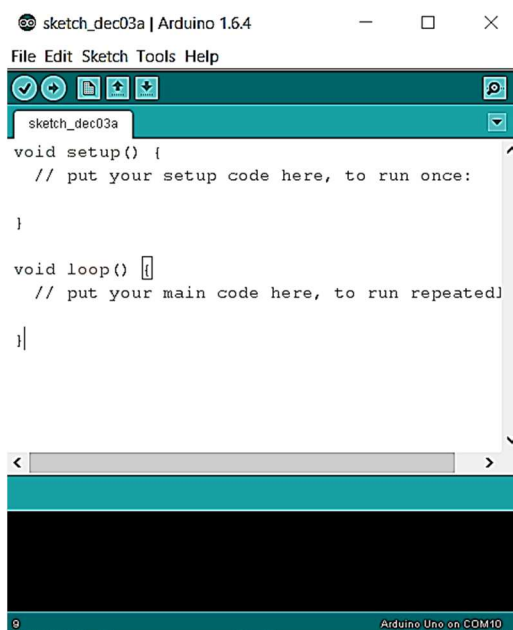


Fig. 3. Arduino IDE

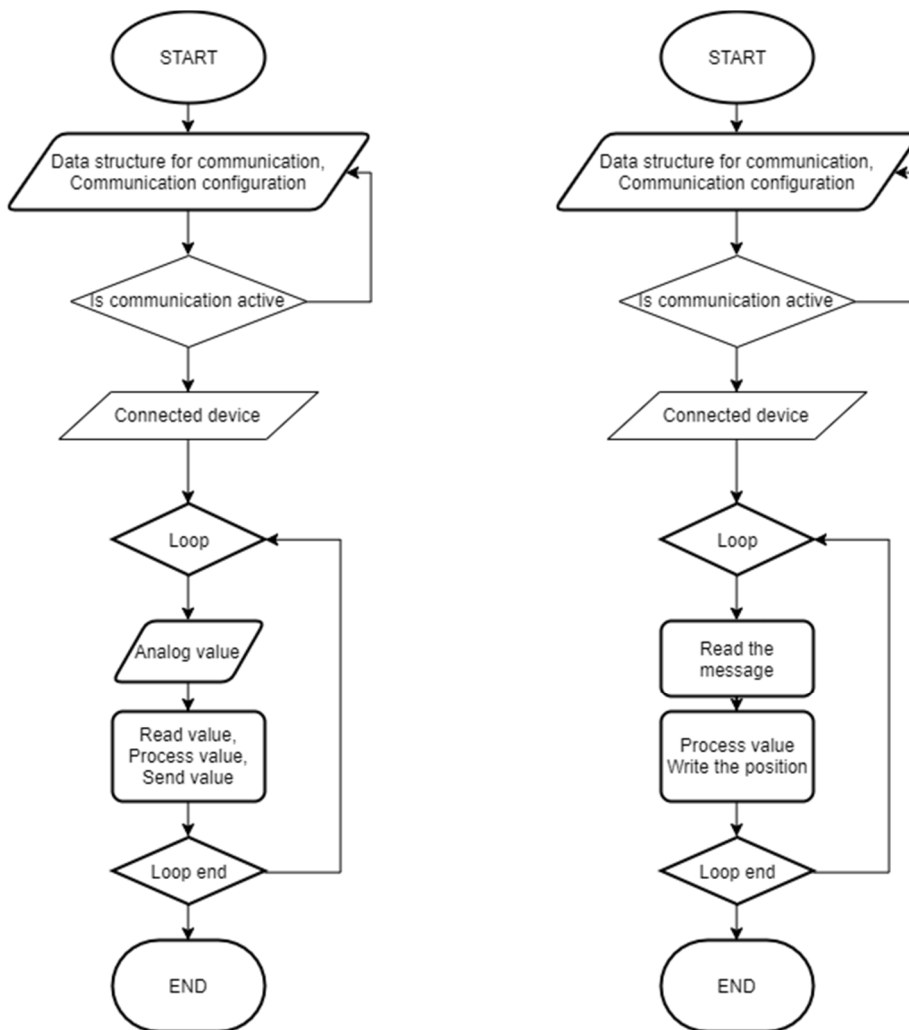


Fig. 4. Control diagram – sender and receiver programs

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Proposed system.** The proposed system was tested in laboratory environment. The picture below shows the proposed connection of both sides and the physical realization of such connections. The main microcontrollers are Arduino UNO Rev3. For experiments the USB Power supply cables were used. Also, for programming and monitoring of this system, the serial monitor functionality of the Arduino IDE was used.

The communication between the PC and the microcontrollers is configured to 9600 bit/s. The RF communication proceeded on channel n. 115. The speed of the wireless data transfer was 250 Kbps. The power amplifier was chosen to be LOW because of the short distance between the communicating partners. The final wiring of the system is shown on the next figures.

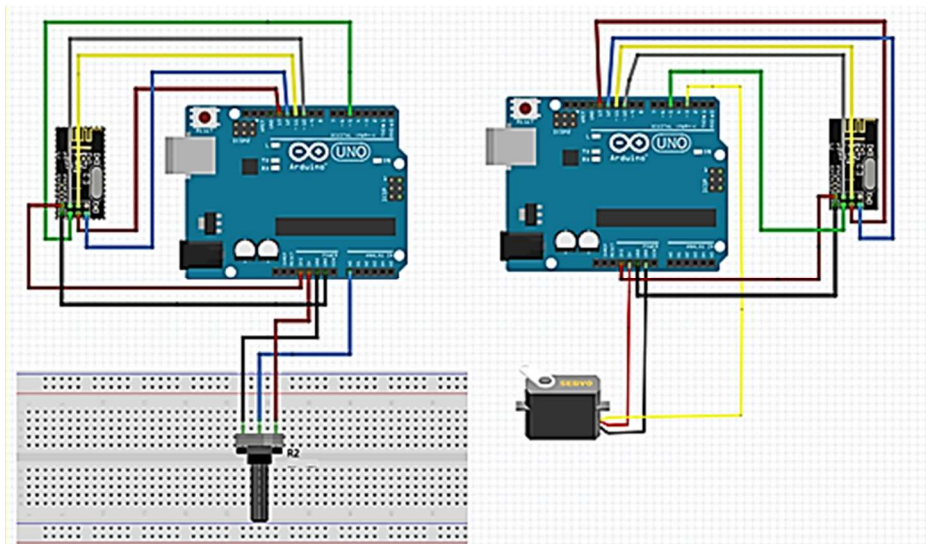


Fig. 5. Wiring schemes – sender and receiver

The experimental testing was successful. The picture below shows part of the control software with a detail of the received messages.

```

receiver
/^CE - 7
MISO - 12
MOSI - 11
SCK - 13
CS - 8
Recently tested with nano
*/

#include <SPI.h>
#include "RF24.h"
#include <Servo.h>

Servo myservo;

RF24 myRadio (5, 10);

struct package
{
  int msg;
};
typedef struct package Package;
Package data;

byte addresses[][6] = {"0"};

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  myRadio.begin();
  myRadio.setChannel(115); //115 band above WIFI signals

```



Fig. 6. Wiring schemes – sender and receiver

**Conclusion.** In this paper, a proposal of model remote-control system is described. To fulfill a real-life task requirement, it's necessary to replace the servo motor to be able to manipulate with an object, also the power consumption has to be analyzed. In this case a model system can only represent the means of describing functioning not a concrete device for a

specific application. The communication protocol nRF is lightweight transfer technology working in the range of standardized ISM band. With its characteristic it's well suitable for simple home automation systems, where one or more physical tasks are replaced with electrical devices. As a controlled device a servomotor is implemented on the receiver side. The position of the servomotor is determined by the received messages from the sender side. The input value of the system is created with a potentiometer and analog to digital conversion.

The carried-out experiment showed that to automate tasks as an appliance control (lighting and dimmer devices) a remotely controlled actuator is suitable solution. This type of automated system can help to older people and people with disabilities to make their everyday life easier or comfortable or more independent. By combining batteries with these systems, we can create simple powerful micro automated systems. Compared to commercially available systems the proposed solution offer advantages as reconfigurability with different peripheral devices, reusability in various tasks and provides good basis of knowledge in the education of students of automation and mechatronics.

**Acknowledgement.** This work has been supported by the Slovak Grant VEGA 1/0330/19 - Výskum a návrh algoritmov a systémov pre fúziu rôznorodých dát v multisenzorových architektúrach and H2020: Manufacturing Industry Digital Innovation Hubs (MIDIH), reference no. 767498.

### References

1. KETSHABETSWE, Lucia Keleadile, et al. Communication protocols for wireless sensor networks: A survey and comparison. *Heliyon*, 2019, 5.5: e01591. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844018340192?via%3Dihub>.
2. KAR, Udit Narayana; SANYAL, Debarshi Kumar. An overview of device-to-device communication in cellular networks. *ICT express*, 2017. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517301467>.
3. ŠIMŠÍK, D. - GALAJDOVÁ, A. - ŠEMINSKÝ, J. - RÁKAY, R. - VIŠŇOVSKÝ, M. Inovácia študijného programu automatizácia a riadenie strojov a procesov v reakcii na požiadavky priemyselnej praxe, ARaP 2016. - Praha: MM publishing, 2016 pp. 79-82. - ISBN 978-80-906310-1-4.
4. ŠEMINSKÝ, J. - Near future manufacturing systems - present and future In: Interdisciplinarity in Theory and Practice. No. 8 (2015), p. 282-284. - ISSN 2344-2409 [online], Available from: <https://docs.google.com/viewerng/viewer?url=http://itpb.eu/pdf/2015-4/8cislo52clanok.pdf&wmode=transparent>.
5. nRF24L01 Datasheet [online], Available from: [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01\\_prelim\\_prod\\_spec\\_1\\_2.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_prod_spec_1_2.pdf).
6. nRF24L01 Datasheet [online], Available from: <https://www.electronics-lab.com/project/communication-between-two-arduinios-using-nrf24l01>.
7. Arduino UNO REV 3 Datasheet [online], Available from: <https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3><https://store.arduino.cc/arduino-uno-rev3>.
8. MG90S Datasheet [online], Available from: <https://protosupplies.com/product/servo-motor-micro-mg90s>.

УДК 62-529:681.5

*Ракай Роберт*

## БЕЗПРОВІДНИЙ КОНТРОЛЬ СЕРВОМОТОРА ДЛЯ ДИСТАНЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Актуальні тенденції автоматизації дому та хобі зосереджуються на впровадженні простих рішень у повсякденні життєві ситуації. Основна мета - це, як правило, спростити або віддалено керувати завданням із недорогими пристроями.

**Постановка проблеми.** Розробляючи системи автоматизації різних пристроїв, розробники намагаються знайти найпростіше рішення з виконанням кожної базової вимоги.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для підготовки даної роботи були проаналізовані різні загальнодоступні таблиці даних та експериментальні рішення, а також були зроблені висновки наших попередніх та інших постійних експериментів для створення бази знань з цієї теми.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Існує багато різних комунікаційних рішень, і кожен виробник пристрою зв'язку пропонує своє рішення. Ця стаття є недостатньою для їх опису. Але створює базу для подальшого порівняння результатів з іншими майбутніми рішеннями тієї ж задачі.

**Постановка завдання.** У цій статті пропонується система дистанційного керування для домашньої автоматизації, у цій статті створено бездротове з'єднання для дистанційного керування положенням сервомотора.

**Виклад основного матеріалу.** Щоб запропонувати майбутню модель системи управління побутовими приладами, необхідно впровадити новітні комунікаційні технології. Використання нових протоколів зв'язку, таких як BLE, LoRA або nRF, дає хорошу основу для вирішення цього питання.

**Висновки відповідно до статті.** У запропонованій статті представлена бездротова система дистанційного керування для простих завдань, таких як управління фарами або диммерами. Тестована система забезпечує хорошу основу для майбутнього застосування в реальному житті.

**Ключові слова:** безпроводний контроль; домашня автоматизація; сервомотор.

Рис.: 6. Табл.: 2. Бібл.: 8.

**Róbert Rákay** – Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letná 9, 04200, Košice, Slovak Republic).

**Ракай Роберт** – доцент, Технічний університет Кошице (Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** robert.rakay@tuke.sk

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7151-3749>

**Scopus Author ID:** 56922070700

UDC 004.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-134-140

Lubica Miková

**DESIGN OF A CONTROLLER FOR IDEAL POSITIONING SERVO SYSTEM**

**Urgency of the research.** In advanced mechatronics, motion systems are the key technology, since mechanical systems such as Microelectronics manufacturing equipments are often required for high speed and accuracy. As a result, the increasing influence of the dynamics of the mechanical system on the quality of the position servosystem is noticeable. One of the important dynamic effects is the dynamics of the mechatronic system's vibroisolation, which arises as a result of the reaction force generated by the action variable.

**Target setting.** The aim of the paper was to design a PID controller for an ideal positioning servosystem. Ideal positioning servosystem consists of a one mass which is actuated by the  $F_{servo}$  force.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In modern controllers, in the correction error value, classic feedback combines with forwarding feedback. The forward control is based on the fact that if the model of the mechanical actuator is known and all the initial conditions are zero, the desired position can be reached without the use of feedback.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** From a theoretical point of view, it has been devoted to ideal positioning servosystem for quite a long time, but the results achieved are rarely used in practice. One of the reasons is their theoretical focus, using complex mathematics, and as a result there is a great gap between theory and engineering practice.

**The research objective.** Design of PID controller is based on equation for crossover frequencies, which allows to determine the derivative and integration constant of a PID controller for a given bandwidth.

**The statement of basic materials.** The most important dynamic effects that impact the properties of actuators are actuator flexibility, flexibility of system limited mass and rigidity of the stationary part of the system. From the equation for the eigenfrequency  $\omega_{DP}$  of the low-pass second order filter is determined. Finally, the specific gain  $P$  is determined to suit the amplitude and phase margin. This completes the design of the ideal positioning servosystem.

**Conclusions.** PID controller for an ideal positioning servosystem is design based on equation for crossover frequencies, which allows to determine the derivative and integration constant of a PID controller for a given bandwidth.

**Keywords:** motion control; vibroisolation; stability; performance control system.

Fig.: 7. References: 10.

**Introduction.** In [1] discusses the demands for proper tools for computer aided control system design of mechatronic systems and identifies a number of tasks in this design process. Real mechatronic design, involving input from specialists from varying disciplines, requires that the system can be represented in multiple views. The idea of feedback to make corrective actions based on the difference between the desired and the actual values of a quantity can be implemented in many different ways [3]. In modern controllers, in the correction error value, classic feedback combines with forwarding feedback. The forward control is based on the fact that if the model of the mechanical actuator is known and all the initial conditions are zero, the desired position can be reached without the use of feedback. The required feedback characteristics, which are generally expressed within the bandwidth, depend very much on the errors of the system [2 - 10]. The three most important dynamic effects that have impact on parameters of actuators are:

- actuator flexibility,
- flexibility of the system,
- limited mass and rigidity of the stationary part of the system [5].

**Ideal positioning servosystem.** Ideal positioning servosystem consists of a one mass which is actuate by the  $F_{servo}$  force. This force is generated by PID controller with which it is involved in a series of the low-pass second order filter. Position of mass  $m_A$  represents the actuator and is measured to the relatively fixed base.

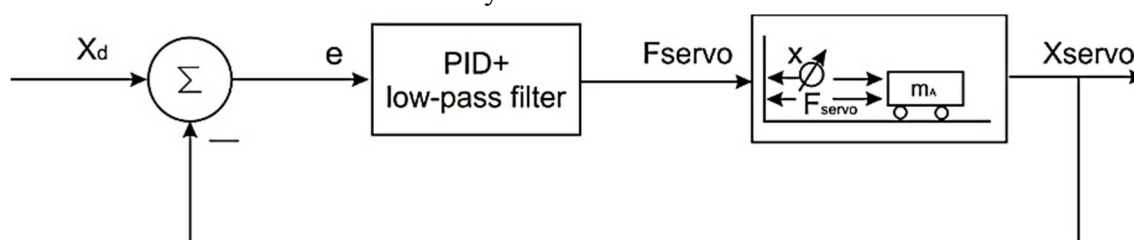


Fig. 1. Closed loop control system of ideal positioning servosystem

To derive the transfer function of the PID controller and the low pass filter of the 2nd order, we start from the typical crossover frequencies for the PID controller with the low pass filter of the 2nd order related to the bandwidth, which is defined by frequency  $f_{sp}$ . The following relations used for the crossover frequencies:

$$f_I = \frac{f_{sp}}{10}$$

$$f_D = \frac{f_{sp}}{3}$$

$$f_{DP} = 4 \cdot f_{sp}$$

The relationship between PID controller constants and crossover frequencies can be derived from the following PID controller transfer function, where P is proportional, D - derivative and I - integral values:

$$R(s) = P \left( 1 + Ds + \frac{I}{s} \right) = \frac{P(s + Ds^2 + I)}{s} = \frac{PD(s^2 + \frac{1}{D} + \frac{I}{D})}{s}$$

Then:

$$R(s) = \frac{PI \left[ \left( 1 + \frac{1}{\frac{1}{2D} - \sqrt{\frac{1}{4D^2} - \frac{I}{D}}} s \right) \left( 1 + \frac{1}{\frac{1}{2D} + \sqrt{\frac{1}{4D^2} - \frac{I}{D}}} s \right) \right]}{s}$$

$$R(s) = \frac{PI(1 + T_D s)(1 + T_I s)}{s}$$

$$T_D = \frac{1}{\frac{1}{2D} - \sqrt{\frac{1}{4D^2} - \frac{I}{D}}}$$

$$T_I = \frac{1}{\frac{1}{2D} + \sqrt{\frac{1}{4D^2} - \frac{I}{D}}}$$

For crossover frequencies we get:

$$\omega_D = \frac{1}{T_D} \rightarrow f_D = \frac{1}{2\pi T_D}$$

$$\omega_I = \frac{1}{T_I} \rightarrow f_I = \frac{1}{2\pi T_I}$$

This means that we get the integration constant I and the derivative constant D for the controller from the following set of two equations of two unknowns:

$$\frac{\frac{1}{2D} + \sqrt{\frac{1}{4D^2} - \frac{I}{D}}}{2\pi} = \frac{f_{sp}}{10}$$

$$\frac{\frac{1}{2D} - \sqrt{\frac{1}{4D^2} - \frac{I}{D}}}{2\pi} = \frac{f_{sp}}{3}$$

The proportional constant then adjusts the gain to ensure that the position actuator is stable. The Bode characteristic in the asymptotic approximation for the PID controller (without filter) is shown in fig. 2.

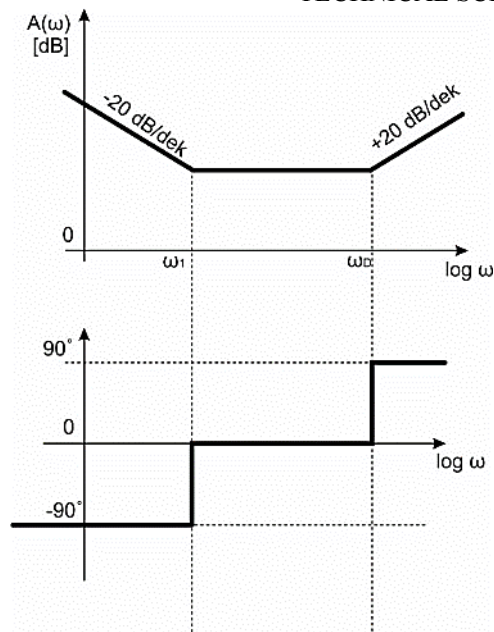


Fig. 2. Bode characteristic of PID controller

We will consider the transfer function of the low-pass second order filter in the form:

$$G_{F(s)} = \frac{\omega_{DP}^2}{s + 2\xi_F\omega_{DP} + \omega_{DP}^2}$$

In this equation, the damping factor  $\xi_F$  and the eigenfrequency  $\omega_{DP}$ , which represents the break frequency, are present. This frequency must satisfy the condition in the equations for crossover frequencies.

$$\omega_{DP} = 2\pi 4 f_{sp}$$

We will consider a small overshoot of the low-pass second order filter, so we choose the damping factor  $\xi_F = 0,7$ . The asymptotic approximation of the Bode characteristic of the low-pass second order filter is shown in fig. 3.

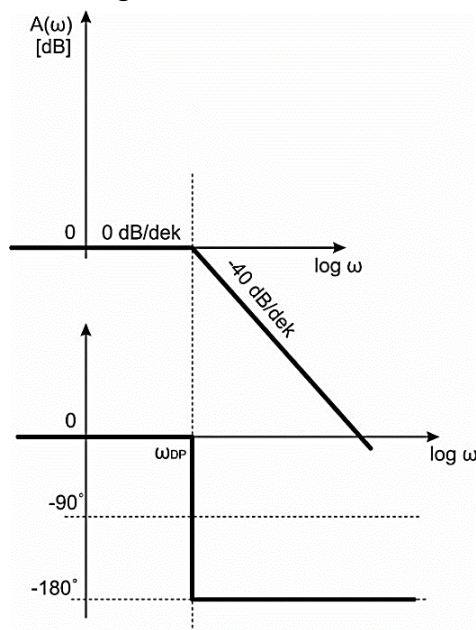


Fig. 3. The asymptotic approximation of the Bode characteristic of the low-pass second-order filter



From the above-mentioned partial Bode characteristics its clear, that is possible to construct the overall characteristics of the PID controller and the second-pass low-pass second order filter. Its graphical representation in asymptotic form is shown in Fig. 4.

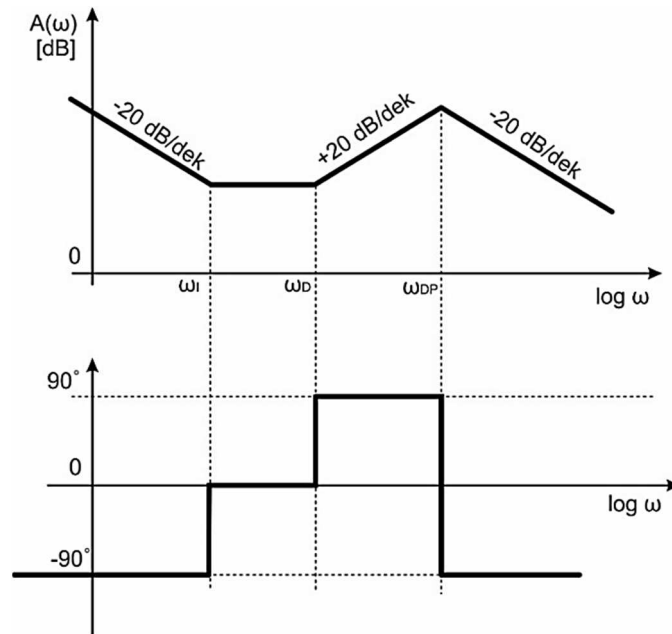


Fig. 4. Asymptotic approximation of Bode characteristic

It has already been mentioned that the actuator is represented as a mass of the  $m_A$  applied to the force  $F_{SERVO}$ .

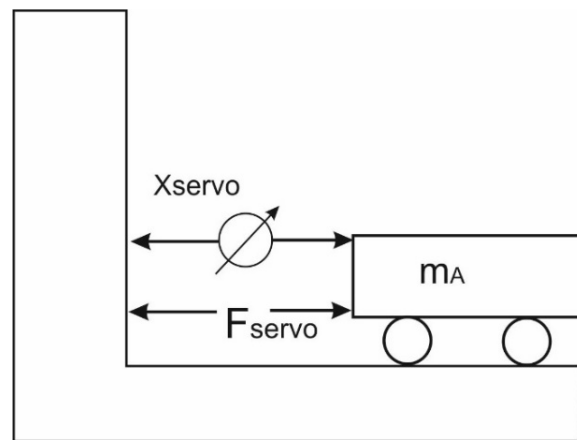


Fig. 5. Model of actuator of ideal positioning servosystem

The dependence between the output variable of the  $X_{SERVO}$  actuator and the input variable  $F_{SERVO}$  is described by the equation:

$$m_A = \frac{d^2 X_{SERVO}}{dt^2} = F_{SERVO}$$

The transfer function is then:

$$\frac{X_{SERVO}(s)}{F_{SERVO}(s)} = \frac{1}{m_A s^2}$$

The corresponding Bode characteristic is shown in fig. 6. Throughout the whole frequency range, the amplitude characteristic has a slope  $-40\text{dB/dek}$  and the phase frequency characteristic is equal  $-\pi$ .

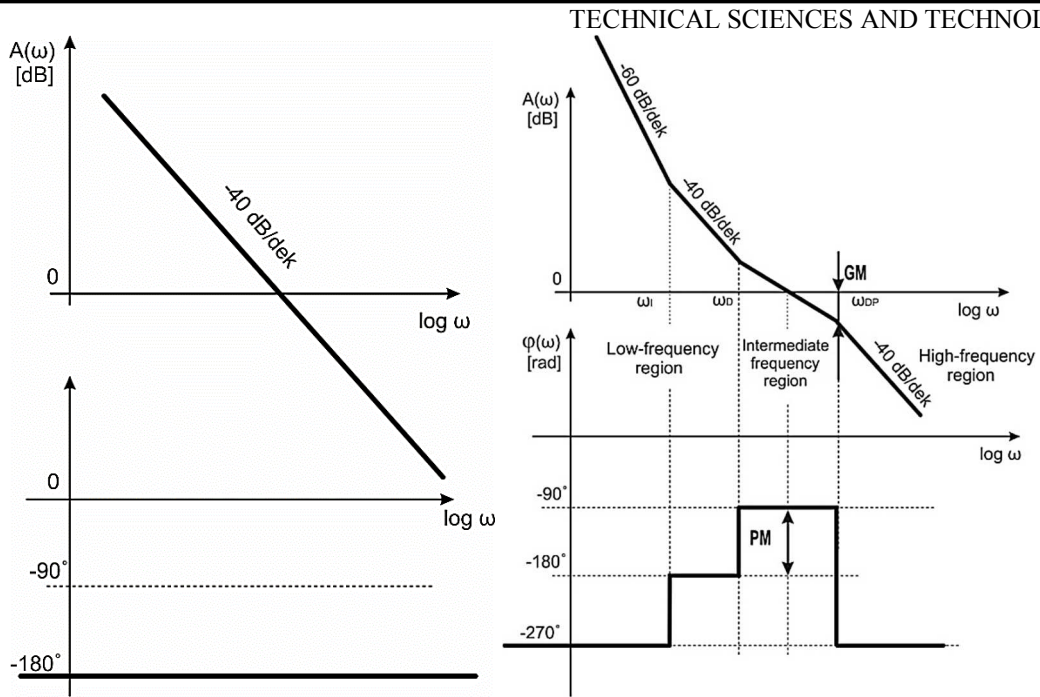


Fig. 6. Bode characteristics of the actuator of the positioning servosystem and Bode characteristic of open loop the positioning servosystem

Where PM – Phase margin and GM – Gain margin. Amplitude and phase margin determine the degree of stability and basically show, how close to the point (-1.0) is the frequency characteristic in the complex plane. Amplitude margin determines how many times the gain P of the proportional term of the PID controller can be increased before the positioning servosystem reaches the stability limit. Phase margin determines how much delay the excitation signal can afford at a given frequency before the phase delay reaches  $-180^\circ$  and the feedback system reaches the stability limit. Amplitude and phase margin can be easily read from the Bode characteristic (Fig. 6). In our case, according to the gain of the proportional term of the PID controller, three cases can appear, which are illustrated by the Nyquist characteristic in Fig. 7.

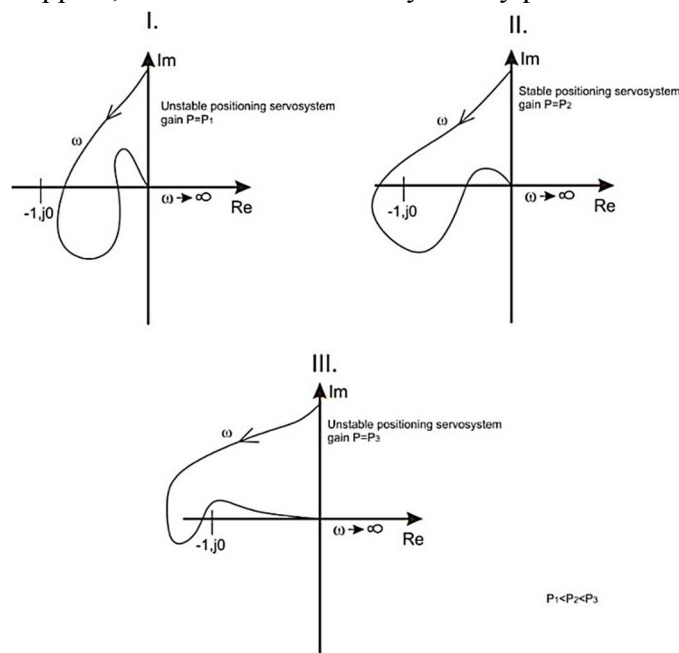


Fig. 7. Frequency characteristic of open ideal positioning servosystem for different gain of the proportional term of the PID controller

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

From these frequency characteristics follows, that the permissible gain  $P$  is limited both from above and below. Therefore, a suitable gain value  $P$  must ensure sufficient margin in both amplitude and phase.

**Conclusion.** The aim of this article was to design a PID controller for an ideal positioning servosystem. Its design is based on equation for crossover frequencies, which allows to determine the derivative and integration constant of a PID controller for a given bandwidth. From the equation for the eigenfrequency  $\omega_{DP}$  of the low-pass second order filter is determined. Finally, the specific gain  $P$  is determined to suit the amplitude and phase margin. This completes the design of the ideal positioning servosystem.

**Acknowledgement.** *This research was funded by Slovak Grant Agency VEGA1/0872/16 "Research of synthetic and biological inspired locomotion of mechatronic systems in rugged terrain" and by project Slovak Grant Agency VEGA 1/0389/18 "Research on kinematically redundant mechanisms".*

### References

1. Amerongen, J., Coelingh, E., De Vries, T. J. A. (2000). Computer support for mechatronic control system design, *Robotics and autonomous systems*, no 30.
2. Åström, K., Hägglund, T. (1995) PID Controllers: Theory, Design, and Tuning, USA: Instrument Society of America, Research Triangle Park, North Carolina.
3. Åström, K., Murray, R. M. (2008) Feedback Systems. *Library of Congress Cataloging-in-Publication Data*, North Carolina, ISBN 978-0-691-13576-2.
4. Bishop, R. (2002). The Mechatronics Handbook. CRC Press, ISBN 0-8493-0066-5.
5. Rankers, A. M. (1997). Machine dynamics in mechatronics systems, *An Engineering Approach, Philips Electronics N. V.*, ISBN: 90-365-0957-2.
6. Sandin, E. P. (2003). Robot mechanisms and mechanical devices, ISBN 0-07-142928-X.
7. Fatikow, S., Rembold, U. *Microsystem Technology and Microrobotics*. Berlin: Springer Verlag, 1997, ISBN: 3540606580.
8. Fukuda, T., Menz, W. (1998). Micro mechanical systems, principles and technology. Amsterdam: Elsevier, ISBN: 044482363.
9. Isermann, R., Münchhof, M. (2003) Identification of Dynamic Systems, Springer-Verlag London Berlin Heidelberg, ISBN 978-3-540-78878-2.
10. Janschek, K. *Mechatronic systems design*, Springer Heidelberg Dordrecht, London, ISBN 978-3-642-17531-2.

УДК 004.4

Любица Микова

## ПРОЕКТУВАННЯ КОНТРОЛЕРА ДЛЯ ІДЕАЛЬНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ СЕРВОСИСТЕМ

**Актуальність теми дослідження.** У сучасній мехатроніці основними технологіями є рухові системи, оскільки такі механічні системи, як, наприклад, виробництво обладнання для мікроелектроніки, часто вимагають високої швидкості та точності позиціонування. В результаті помітний зростаючий вплив динаміки механічної системи на якість позиціонування сервосистеми. Одним із важливих динамічних ефектів є динаміка віброізоляції мехатронної системи, яка виникає внаслідок дії реакційної сили, що генерується змінною дією.

**Постановка проблеми.** Ідеальна сервосистема позиціонування складається з маси, яка приводиться в дію силою  $F_{servo}$ . Цю силу задає PID-контролер, що включений послідовно з низькочастотним фільтром другого порядку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасних контролерах класичний зворотний зв'язок поєднується з прямим зворотним зв'язком за значенням помилки. Пряме управління засноване на тому факті, що якщо модель механічного приводу відома і всі початкові умови дорівнюють нулю, бажаного положення можна досягти без використання зворотного зв'язку.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Теоретична точка зору довгий час була прив'язана до ідеальної сервосистеми позиціонування, але отримані результати рідко використовуються на практиці. Однією з причин є їх теоретична направленість з використанням складної математики, і, як результат, існує великий розрив між теорією і інженерною практикою.

**Постановка завдання.** Проектування PID-контролера засноване на рівнянні для частот зрізу, що дозволяє визначати диференційну та інтегральну складові PID-контролера для заданої пропускну здатності.

**Виклад основного матеріалу.** Три найважливіші динамічні ефекти, що впливають на властивості приводів, - це гнучкість приводу, гнучкість системи, обмежена маса та жорсткість нерухомої частини системи. З рівняння для власної частоти  $\square DP$  визначається низькочастотний фільтр другого порядку. Нарешиці, пропорційна складова  $P$  визначається відповідно до амплітуди та фази. Це завершує проектування ідеальної сервосистеми позиціонування.

**Висновки відповідно до статті.** Метою статті було розробити PID-контролер для ідеальної сервосистеми позиціонування. Його конструкція заснована на рівнянні для частот зрізу, що дозволяє визначити диференційну та інтегральну складові PID-контролера для заданої пропускну здатності.

**Ключові слова:** контроль руху; віброізоляція; стабільність; система контролю продуктивності.

Рис.: 7. Бібл.: 10.

**Mikova Lubica** – associate professor, Ph.D. of technical sciences Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Kosice (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**Любица Микова** – доцент, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Letna 9, 04200 Kosice, Slovak Republic).

**E-mail:** lubica.mikova@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 55259674100

*Patrik Šarga, Tomáš Záboly*

## MODERNIZATION OF THE TRANSPORT SYSTEM CONTROL OF THE PRODUCTION SYSTEM

**Urgency of the research.** Nowadays, it is crucial to keep up with modern technologies. Therefore, this work aims to modernize the production system Festo MPS 500. Thanks to this, it will be possible to apply to the system technologies meeting the latest trends in Industry 4.0. The MPS 500 system prepared in this way can be used to research new trends in accordance with Industry 4.0. The modernized MPS 500 system will also find use in the education of students in the field of automation and mechatronics so that they are sufficiently prepared for practice.

**Target setting.** The goal of the research was to modernize the transport system of the modular production system Festo MPS 500 according to Industry 4.0 platform.

**Actual scientific researches and issues analysis.** When upgrading the system MPS 500 and preparing this paper, we took into account both current sources – publications and papers dealing with the current state of Industry 4.0 and modular production systems as well as existing modular production systems based on Industry 4.0 platform.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** At this stage of the research, data acquisition from the system MPS 500 and interconnection with the cloud was not realized.

**The research objective.** The purpose of this article is to modernize the MPS 500, which will allow focusing on Industry 4.0 research specifically for the deployment of Cyber-physical systems, Internet of Things, Big Data, Cloud Computing.

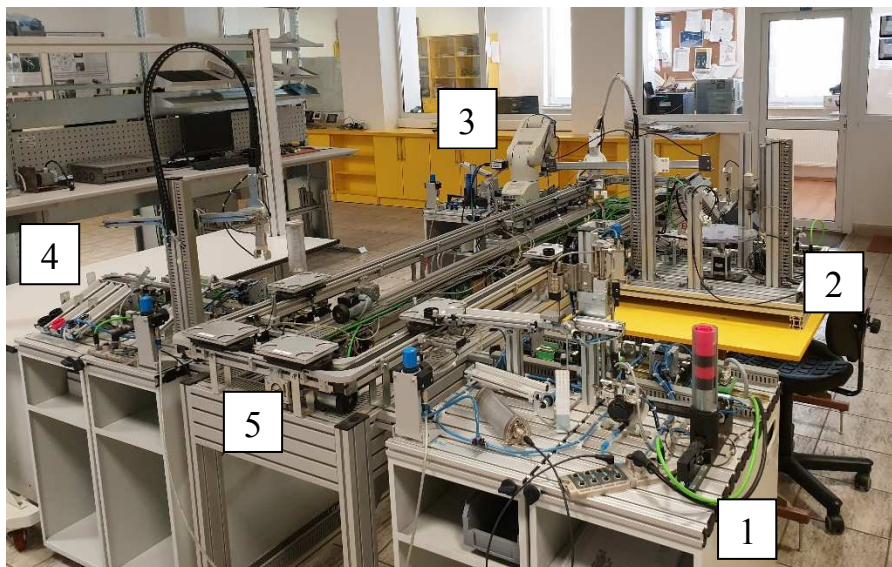
**The statement of basic materials.** Effective research of the new technologies in the industry requires to use modern systems which meet the criteria of Industry 4.0 platform. So the original system Festo MTS 500 was upgraded by systems from Siemens.

**Conclusions.** The main aim of this work was to modernize the transport system of the production system MPS 500. Elements of the system management were changed, and a new control program was created in the TIA Portal environment. The functionality of the MPS 500 was subsequently verified, where the full functionality of the system was confirmed. It makes the MPS 500 ready for further expansion in accordance with Industry 4.0.

**Keywords:** automation; control; modular production system; transport system; PLC; Industry 4.0.

*Fig.: 9. References: 12.*

**Introduction.** Festo MPS 500 (Fig. 1) is an educational modular production system that helps to teach mechatronics and automation [1]. It consists of a central transport system (conveyor), process station, entry and exit station and assembly station with a robot. The transport system (Fig. 2) is the brain of the MPS 500. Transport trolleys are used to move the assembled components on the line. Up to 4 components can be placed on each trolley. All stations are interconnected with the transport system. Control of the stations and transport system is conducted by programmable logic controllers (PLCs). Communication between individual stations and the conveyor is ensured via I/O (input / output) ports and AS-i (Actuator / Sensor interface) [2], [3].



*Fig. 1. Festo MPS 500:*

*1 – distribution and testing station, 2 – process station, 3 – assembly station with a robot,  
4 – handling and sorting station, 5 – transport system*



Fig. 2. Transport system of the MPS 500

All control elements of the transport system, including the PLC, frequency converter for motors and cabling, are located in the control cabinet. All these elements are supplied via the safety relay contacts. The original state of the control cabinet of the educational system MPS 500 before its modernization is shown in Fig. 3.

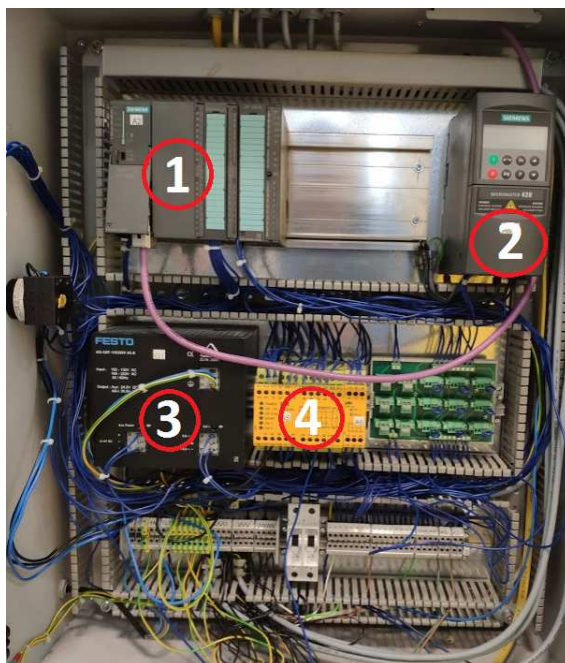


Fig. 3. The original state of the control cabinet:

- 1 – PLC Siemens SIMATIC S7-300 CPU 313c; 2 – Frequency converter Siemens MICROMASTER 420;  
3 – Power supply unit; 4 – Safety relay pilz x9

**Modernization of the transport system.** The main criterion in the modernization of the transport system of the MPS 500 was the use of modern components following Industry 4.0 [4]. MPS 500 is modular, so it can be extended to include stations that would perform other opera-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

tions, such as monitoring by a smart camera. With the camera, it is possible to monitor the correct machining of the component or to monitor the status of the component storage station. Later, it will be possible to extend the MPS 500 with sensors for detection of the trolley's presence, the presence of a component on the trolley, or the filling of the conveyor in front of the station.

**Control system.** Before the actual expansion of the MPS 500, it was necessary to upgrade the control by PLC. Since we decided to use the Profinet communication bus, it was necessary to use a switch with a suitable number of communication ports to connect the PLC with each station. The control PLC must communicate with the stations and synchronize them with the conveyor belt.

We chose the PLC S7-1500 CPU 1512C-1PN (Fig. 4) [5] as the control PLC. An important indicator for selecting a PLC was the fact that it has up to 32 I/O ports for further system expansion. Plus of the selected PLC is an integrated web server, which offers the possibility to display diagnostic and service information remotely. This PLC also has five analogue inputs that can be used to collect information from current, temperature, and other relevant sensors.

The SIMATIC S7-1500 PLC has two Profinet communication ports. This communication bus will also allow the system to access the Internet and connect it to the cloud. Another reason why we decided to use the SIMATIC S7-1500 PLC was that the lower-order PLC does not have enough computational power to process the amount of data retrieved from the sensors.



*Fig. 4. PLC Siemens SIMATIC S7-1500 CPU 1512C-1PN [5]*

The PLC does not provide a direct connection of the communication module, so it was necessary to use a decentralized peripheral. Siemens offers the SIMATIC ET 200 peripheral for this purpose.

SIMATIC ET 200 offers a wide range of distributed I/O systems. There is a version installed in the control cabinet or without the control cabinet, installed directly in harsh industrial environments. The device is also available with the protection up to IP67. [6]

A SIMATIC ET 200SP with IP20 protection was used for our needs (Fig. 5). It is easy to operate, ensuring maximum economy in a switchboard with a compact design and high performance [7].



*Fig. 5. SIMATIC ET 200SP [7]*

To the decentralized peripheral SIMATIC ET 200SP, it was also necessary to connect an additional module AS-i Master, which is a communication module for AS-Interface. The AS-i master allows simple “field” devices to be connected to the SIMATIC ET 200SP via the AS-Interface. Several AS-i Master modules can be connected to one SIMATIC ET 200SP. [8]. Fig. 6 shows the ET 200SP peripheral with AS-i mastic attached.



*Fig. 6. SIMATIC ET 200SP with AS-i Master [8]*

**Frequency converter.** SINAMICS G120 from Siemens has been selected from the offer of frequency converters (Fig. 7). It is a modular frequency converter for a variety of asynchronous motor control applications. Various converter variants allow a wide power range from 0.55 to 250kW. This series of converters are available in three voltage variants for connection to 200V, 400V and 690V. Each SINAMICS G120 series frequency converter consists of a control unit and a power unit. In the SINAMICS G120 series, each control unit can be combined with each power unit.

The control unit controls and monitors the power unit and the connected motor with the choice of the control method. It enables communication with central or local control as well as with monitoring devices.



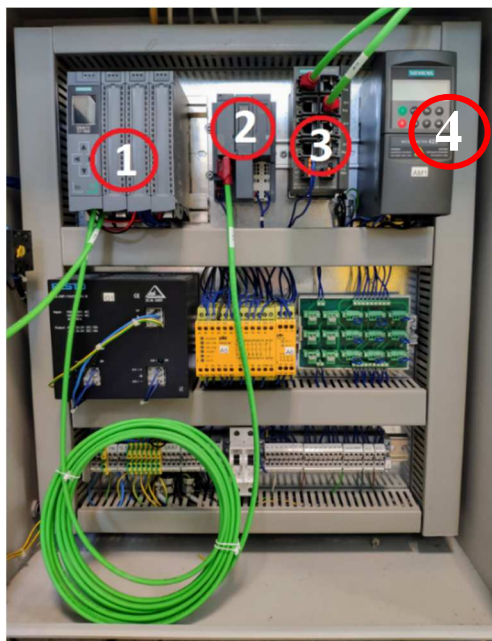
*Fig. 7. Frequency converter Siemens SINAMICS G120 [9]*

Basic functions of the SINAMICS G120 converter [10]:

- vector, torque control with or without speed feedback,
- precise stopping for a defined number of shaft (engine) revolutions,
- possibility to measure speed, frequency, current, temperature, torque, voltage, motor power,
- fixed power frequency or potentiometer for setting the engine speed,
- diagnostics and fault reporting,
- an automatic slow start after failure,
- adjustable switching frequency for silent motor operation.



**Installing new components.** New components have been installed in the control cabinet – PLC, decentralized peripheral SIMATIC ET 200SP, frequency converter SINAMICS G120 and SCALANCE X208 switch for interconnection of all PLCs used on the system MPS 500. These devices are mounted on a DIN rail. It was also necessary to connect the 24V power supply to the SIMATIC ET 200SP. Subsequently, AS-i master and the PLC were connected with a network cable to SIMATIC ET 200SP. The final state of the control cabinet is shown in Fig. 8.



*Fig. 8. The final state of the control cabinet:*

*1 – PLC Siemens SIMATIC S7-1500 CPU 1512C-1PN; 2 – SIMATIC ET 200SP;  
3 – Switch SCALANCE X208; 4 – Frequency converter Siemens SINAMICS G120*

**The control program.** After the hardware changes were made, it was necessary to create a new transport system control program to work with all stations in the MPS 500. The transport system must be able to respond to any conditions that may occur during MPS 500 operation (such as empty trolley in front of the station). The control program was created in TIA Portal in the LAD programming language.

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) is Siemens software designed to create custom applications for PLCs, distributed peripherals, network components and communication components, HMI (human machine interface) panel design and extensive SCADA (Supervisory control and data acquisition) visualizations. All of this is integrated into a single software environment with an easy single-screen operation.

TIA Portal not only accelerates the creation of user applications but also has a transparent and straightforward structure. The resulting control program can be easily modified or supplemented. The program allows more accessible diagnostics in regular operation, including maintenance and service of automation technology. With its characteristic system features, TIA Portal supports the complete life cycle of the machine or devices [11].

Fig. 9 shows a demonstration of a control program that ensures the transport system cooperates with an assembly station with a robot.

**Experimental verification of system functionality.** The testing was carried out to verify the functionality of the whole system MPS 500. It was necessary to test all possible scenarios that might occur while the program was running in order to correct errors in the control program. The production cycle time required to test, process, assemble and sort one component was also measured. The identified shortcomings were subsequently remedied, and the resulting solution is fully operational [12].

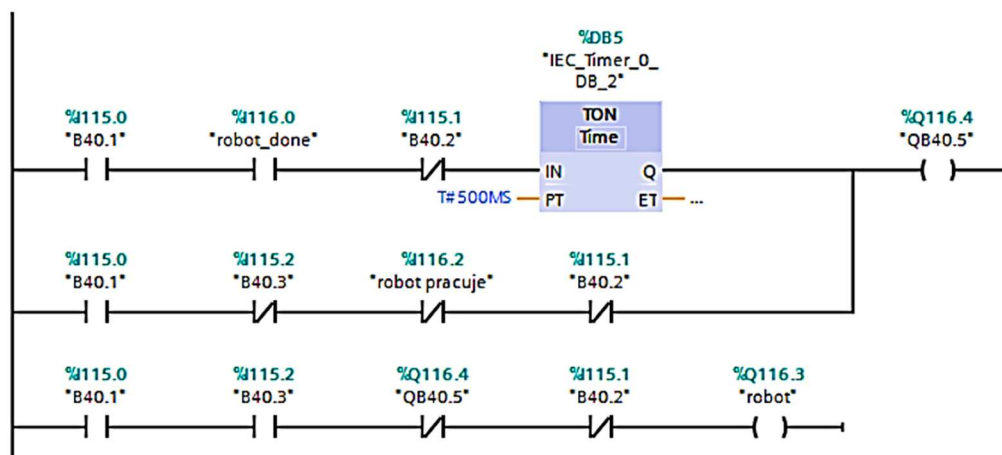


Fig. 9. Part of the control program

**Conclusions.** The main aim of this work was to modernize the transport system of the educational line MPS 500. Elements of the system management were changed, and a new control program was created in the TIA Portal environment. Used PLC and decentralized peripherals SIMATIC ET 200SP fulfil their task without problems, and the control of the movement of transport trolleys is performed as expected. All stations were connected via Profinet via SCALANCE X208 switch. The Siemens SINAMICS G120 frequency converter can measure current, temperature or torque values directly. The inverter has a port for connection to the PLC via Profinet, that is, it sends the measured values directly via the data cable to the PLC, which processes them. It is also possible to parameterize the converter centrally via the PC, thus avoiding time-consuming parameter entry via the display or by using the buttons on the converter.

The next step in extending MPS 500 functions will be to implement an HMI panel on which will be the process visualized. The HMI panel also has a Profinet connection so it can be connected to the PLC via free ports on the switch. In the next phase, the MPS 500 will be supplemented with additional sensors to monitor multiple parameters. The MPS 500 also connects to the cloud, allowing remote control of the production process

**Acknowledgement.** This work was supported by grant project VEGA 1/0330/19.

### References

1. Schober, (2012), FESTO MPS500 manual, Denkendorf, 52 p [in English].
2. AS-INTERFACE (2019), Retrieved from <https://www.mmspektrum.com/clanek/co-je-system-as-interface.html> [in Slovak].
3. Priemyselné komunikačné zbernice (2019), Retrieved from <http://senzor.robotika.sk/pkom/html/kapitola4.htm> [in Slovak].
4. Šimšík, Dušan (2019): Základy automatizácie, Košice [in Slovak].
5. Vlastnosti PLC SIMATIC S7-1500-Digital factory (2019), Retrieved from <http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=7eaed34950&ctxp=home> [in Czech].
6. SIMATIC ET 200 – For distributed automation solutions. (2019), Retrieved from [https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure\\_SIMATIC-et200\\_en.pdf](https://www.automation.siemens.com/salesmaterial-as/brochure/en/brochure_SIMATIC-et200_en.pdf) [in English].
7. Decentrální periferie SIMATIC ET 200SP Installation (2019), Retrieved from <https://www.blaja.cz/archiv-clanku/decentralni-periferie-SIMATIC-et-200sp.html> [in Czech].
8. CM AS-i Master ST ET200SP Manual (2019), Retrieved from <https://support.industry.siemens.com/cs/document/71756485/manual-cm-as-i-master-st-for-SIMATIC-et-200sp?dti=0&lc=en-AO> [in English].
9. SINAMICS G120 – Modular (2019), Retrieved from <https://www.parmley-graham.co.uk/options/three-phase/SINAMICS-g120-modular> [in English].
10. Manual G120 CU240B/E-2 (2019), Retrieved from <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10423925> [in English].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

11. Totally Integrated Automation Portal – Digital Factory and Process Industries and Drives – Siemens (2019), Retrieved from [http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=2416f2e791&ctxp=home\\_\[in Czech\]](http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?ctxnh=2416f2e791&ctxp=home_[in Czech]).

12. Záboly, Tomáš (2019): Návrh a realizácia riadenia asynchrónneho motora pre dopravný systém experimentálnej linky, Košice, [in Slovak].

УДК 681.5

*Патрик Сарга, Томаш Заболи*

## МОДЕРНІЗАЦІЯ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНОЮ СИСТЕМОЮ У ВИРОБНИЧІЙ СИСТЕМІ

**Актуальність теми дослідження.** В даний час, вкрай важливо, щоб йти в ногу з сучасними технологіями. Отже, ця робота спрямована на модернізацію виробничої системи Festo MPS 500. Завдяки цьому можна буде застосувати до системних технологій, що відповідають останнім тенденціям у Індустрії 4.0. Підготовлена таким чином система MPS 500 може бути використана для дослідження нових тенденцій відповідно до Індустрії 4.0. Модернізована система MPS 500 також знайде застосування у навчанні студентів у галузі автоматизації та мехатроніки, щоб вони були достатньо підготовлені до практики.

**Постановка проблеми.** Метою дослідження була модернізація транспортної системи модульної виробничої системи Festo MPS 500 відповідно до платформи Індустрія 4.0.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Під час оновлення системи MPS 500 та підготовки даного документу ми врахували як сучасні джерела - публікації та статті, що стосуються сучасного стану Індустрії 4.0, так і модульні виробничі системи, а також існуючі модульні виробничі системи на базі платформи Індустрія 4.0.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На даному етапі досліджень збір даних із системи MPS 500 та взаємозв'язок з хмарою здійснено не було.

**Постановка завдання.** Метою цієї статті є модернізація MPS 500, що дозволить зосередитися на дослідженнях Індустрії 4.0 спеціально для розгортання кіберфізичних систем, інтернету речей, великих даних, хмарних обчислень.

**Виклад основного матеріалу.** Ефективне дослідження нових технологій у галузі потребує використання сучасних систем, що відповідають критеріям платформи Індустрія 4.0. Отже, оригінальна система Festo MTS 500 була модернізована системами виробництва Siemens.

**Висновки відповідно до статті.** Основна мета цієї роботи полягала в модернізації транспортної системи виробничої системи MPS 500. Елементи управління системою були змінені та створено нову програму управління в середовищі порталу TIA. Потім функціональність MPS 500 була перевірена, де була підтверджена повна функціональність системи. Це робить MPS 500 готовим до подальшого розширення відповідно до Індустрії 4.0.

**Ключові слова:** автоматизація; управління; модульна виробнича система; транспортна система; PLC; Індустрія 4.0.  
Рис.: 9. Бібл.: 12.

**Patrik Šarga** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Automation and Human Machine Interactions, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice (Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**Патрик Сарга** – доцент, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** patrik.sarga@tuke.sk

**Scopus Author ID:** 15128102900

**Tomáš Záboly** – student of mechanical engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Technical University of Košice (Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**Томаш Заболи** – студент факультету механічної інженерії, Технічний університет Кошице (Letná 9, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** tomas.zaboly@student.tuke.sk

UDC 621.3:[681.5+681.6]

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-148-154

Erik Prada

## DETERMINATION OF TRANSFER FUNCTION OF MAGNETIC LEVITATION MODEL AND EXPERIMENTAL VERIFICATION OF OPTICAL SENSOR

**Urgency of the research.** The potential of controlling the position of levitating objects has great application in deposition and in various positioning systems. Magnetic levitation eliminates direct mechanical friction between moving parts.

**Target setting.** The measurement shielding method used is one of the methods of determining the position of a levitating object. By combining positioning and regulating elements, we achieve a feedback control. The use of a given type of measurement has advantages in places where the use of other methods is not appropriate.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The problem of magnetic levitation is addressed by several research laboratories with a direct connection to practice. The problem that is currently solved within magnetic levitation is the regulation of the levitating object using various types of regulators.

**The research objective.** Derivation of mathematical model of magnetic levitation and examination of nonlinear system followed by linearization by Taylor series. Experimental determination of characteristics and dependence between object position, voltage and current.

**The statement of basic materials.** The position of the levitating object is determined by the shading of the optical sensor. The light source is a laser light.

**Conclusions.** In this work we defined the mathematical model of the magnetic levitation system and subsequently derived the transfer function of the levitation system and the position sensor. From the experimental verification of the shadow method for the determination of the position of the levitating object and the consequent need for regulation, we found that the dependence of the position of the levitating object on current and voltage on the photodiode is linear in the active region.

**Keywords:** magnetic levitation; optical sensor; laser module; motion detection.

Fig.: 9. References: 11.

**Introduction.** Magnetic levitation has a large perspective in practice, but the widespread use of this technology is not as enormous as some other technologies. The best-known application of magnetic levitation is the use of maglev trains, but it is not the only application of magnetic levitation in practice. To meet the functional model of magnetic levitation in practice is quite problematic in our latitudes. Germany is one of the few countries dedicated to magnetic levitation technology and has a high reputation worldwide with its Transrapid train. Another application of the use of magnetic levitation is, for example, in the Trimble® S6 servo system Fig. 1.

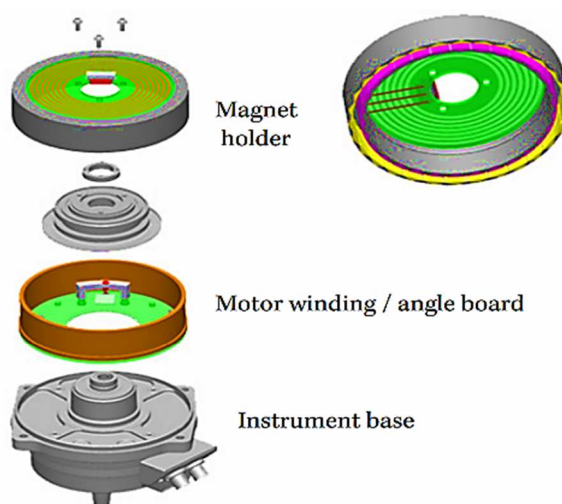


Fig. 1. Trimble S6 (integrated angle and servo system) [1]

Trimble® MagDrive™ servo technology is an integrated servo and angle system that uses a direct drive and frictionless electromagnetic drive technique similar to those used in maglev trains. The direct drive system allows the servo motors to be mounted directly on the horizontal and vertical axis, removing the need for additional mechanical gearing [1].

**Shadow method of measuring position.** Magnetic levitation has a large perspective in practice, but the widespread use of this technology is not as enormous as some other technologies. The measurement of the position of the levitating object using the shadow method is based on the measurement of the current depending on the intensity of the incident light beam on the photosensitive sensor. The drop shadow on the photodiode will cause us to drop the current. Classic light or intense laser light can be used as the light beam source. The sensing unit thus consists of an emitter and an emitted beam sensor. It is most ideal to use a laser beam source as the emitter, the intensity of which is better reflected in the photodiode in a way of greater variance of the measured values. The figure Fig. 2 shows a diagram of the construction of the sensing. When designing it is appropriate to use a collimator, which provides us collimated beam [2-5].

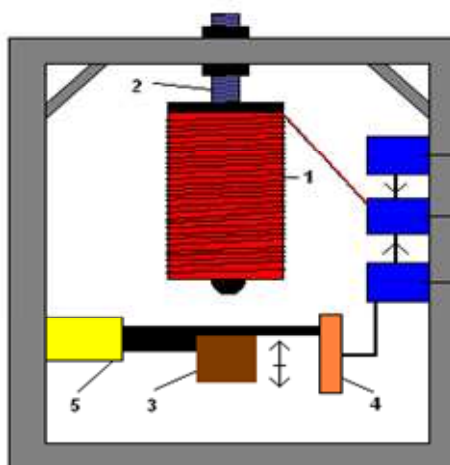


Fig. 2. Schematic representation of the position sensing solution by the shadow method:  
 1 – coil, 2 – connecting screw, 3 – levitating object, 4 – fotodiode, 5 – laser module with collimator

**Mathematical model of the levitating system.** In order to be able to regulate this dynamic system, we describe the physical behavior of the magnetic-levitation dynamic system by a mathematical model. Principle of behavior of levitating body, description of its movement and realization of mathematical model is in following lines.

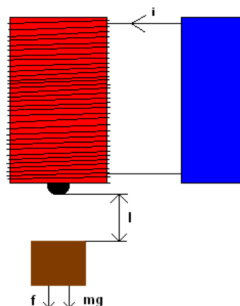


Fig. 3. Forces acting on a levitating object

The electromagnet inductance is assumed in the form:

$$L(y) = L_1 + \frac{L_0}{(1+\frac{y}{a})} \tag{1}$$

We also assume that there is a relation between the inductance constants:

$$L_1 \gg L_0, y(0) = 1 \tag{2}$$

The electromagnetic force acting on a levitating object can be expressed from the magnetic energy equation:

$$W'(i, y) = \frac{1}{2} i^2 L(y) \tag{3}$$

Electromagnetic force is defined as a derivative of magnetic energy and after substitution of induction of electromagnet and energy of magnetic field we get:

$$F_m(i, y) = \frac{\partial W'}{\partial y} = -\frac{L_0 i^2}{2a\left(1+\frac{y}{a}\right)^2} \quad (4)$$

In the next step, we can derive the equation of motion of the levitating object from Fig. 3:

$$m\ddot{y} = mg + F_m \quad (5)$$

Substituting Equation (4) into equation (5) gives a nonlinear motion equation:

$$m\ddot{y} = mg - \frac{L_0 i^2}{2a\left(1+\frac{y}{a}\right)^2} \quad (6)$$

As the role of the electromagnetic actuator is generating such a magnetic force to be balanced against the gravitational force is necessary to equation (6) adjust into static equilibrium:

$$mg = \frac{L_0 i^2}{2a\left(1+\frac{y}{a}\right)^2} \quad (7)$$

In the next step, it is necessary to modify equation (7) to express the current:

$$I = \left(1 + \frac{Y}{a}\right) \sqrt{\frac{2mga}{L_0}} \quad (8)$$

Nonlinear equation of motion (6) can be developed into Taylor series. Then we get:

$$F_m(\Delta i, \Delta y) = F_m(I, Y) + \frac{\partial F_m(I, Y)}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial F_m(I, Y)}{\partial i} \Delta i \quad (9)$$

Where the fault variables are equal:  $\Delta y = y - Y$ ,  $\Delta i = i - I$ .

After substituting force equations into equation (9) we get:

$$F_m(\Delta i, \Delta y) = -\frac{L_0 I^2}{2a\left(1+\frac{Y}{a}\right)^2} + \frac{L_0 I^2}{a^2\left(1+\frac{Y}{a}\right)^3} \Delta y - \frac{L_0 I}{a\left(1+\frac{Y}{a}\right)^2} \Delta i \quad (10)$$

After modification, the basic linearized equation has the form:

$$m\Delta\ddot{y} = mg + F_m(\Delta i, \Delta y) \quad (11)$$

Substituting equation (10) into equation (11) and then simplifying the relations we get:

$$m\Delta\ddot{y} = \frac{L_0 I^2}{a^2\left(1+\frac{Y}{a}\right)^3} \Delta y - \frac{L_0 I}{a\left(1+\frac{Y}{a}\right)^2} \Delta i \quad (12)$$

In the next step, it is necessary to simplify equation (12) by multiplying both expressions on the right and left sides:

$$\frac{2mga\left(1+\frac{Y}{a}\right)^2}{L_0 I^2} = 1 \quad (13)$$

The resulting equation will then have the form:

$$\Delta\ddot{y} - \left(\frac{2g}{a+Y}\right) \Delta y + \left(\frac{2g}{I}\right) \Delta i = 0 \quad (14)$$

Using the Laplace transform we get the following expression:

$$s^2 \Delta Y(s) - \left(\frac{2g}{a+Y}\right) \Delta Y(s) + \left(\frac{2g}{I}\right) \Delta I \quad (15)$$

By adjusting equation (15) we get the transfer function:

$$\frac{\Delta Y(s)}{\Delta I(s)} = -\frac{1}{As^2 - B} \quad (16)$$

Where the individual coefficients A, B:

$$A = -\frac{I}{2g} \left[\frac{As^2}{m}\right], B = \frac{I}{a+Y} \left[\frac{A}{m}\right] \quad (17)$$

Since in expression (17) the coefficient B is negative and the coefficient at the first derivative missing, this system is unstable. It is therefore necessary to ensure system stability feedback. We need numerical values for the electrical and mechanical subsystem directly to models [2-5].

**Experimental verification of the shadow method.** The absolute measurement method was used for experimental verification. The aim of the measurement was experimental verification of the proposed solution. The experiment was performed under different conditions and settings and was therefore divided into several phases. The determined dependency characteristic is therefore different for each phase.

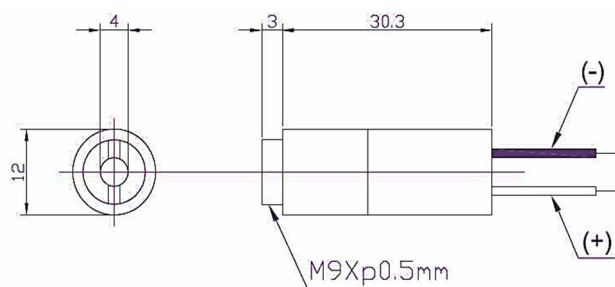


Fig. 4. Laser diode HLDPM12 – 655 – 5

In the experiment we used Laser diode HLDPM12 – 655 – 5 in Fig. 4 with collimator, and Tesla 1PP75 photodiode. The active surface of the Tesla 1PP75 photodiode is 3.5 mm x 5.5 mm. Current measurement was performed on a HP 34401A professional laboratory multimeter. The casting of the shadow on the photodiode was obtained using a metal sheet that was mounted in a rack with micrometer movement in the X-axis and Y-axis directions. Schematic representation of the measurement is in the figure Fig. 5.

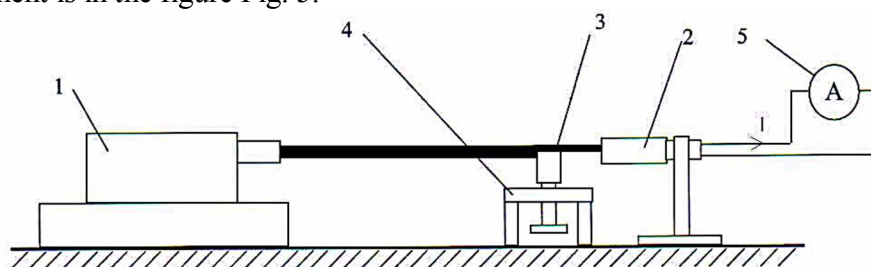


Fig. 5. Scheme of current measurement by laser beam on photodiode:  
 1 – Laser module, 2 – photodiode, 3 – Metal shielding plate,  
 4 – Stand with micrometer movement, 5 – ammeter

Measurement procedure:

- connecting the laser to the mains, attaching the laser probe to the stand and connecting the photodiode through the wires to the multimeter input;
- turning on the laser and checking the beam so that it hits the sensor;
- setting the distance of the sensor from the laser module as required;
- grasping the shielding plate in a micrometer feed rack;
- zero setting of the shielding plate;
- turning on the multimeter and setting the DC current mode;
- recording the generated background currents of the measuring room;
- reading the value from the multimeter with zero cover;
- turn the screw to change the position of the shielding plate in 0.5 mm increments until the entire 10 mm interval has passed;
- reading three values from the multimeter every half millimeter and writing to the table;
- calculation of averages from the measured values and subsequent correction for total measurement error;
- Interpolation graphs [5].

*Laser diode HLDPM12 – 655 – 5 parameters*

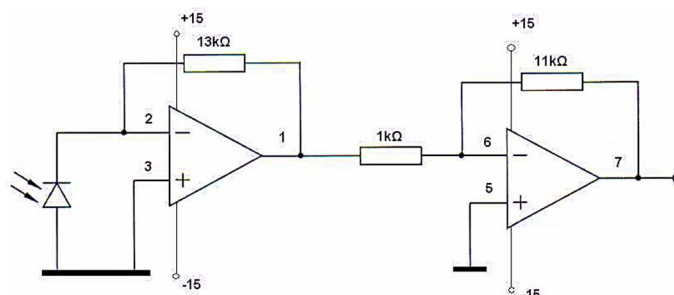
Laser diode	Supply voltage [V]	Wavelength[nm]	Output voltage [mV]
HLDPM12 – 655 – 5	2,5 ~ 4,0	655	6,0 ~ 7,0



*Fig. 6. Model of design of collimator and laser diode*

If light is incident on the diode, there is an electrical voltage on the diode leads. From the characteristic of the photodiode we know that the dependence of the voltage on the illumination is largely non-linear, while the dependence of the current on the illumination is linear. For this reason it is advantageous to connect the photodiode to the current-voltage converter.

The current is applied to the inverting input of the operational amplifier. Since the input resistance of the amplifier is large, it also passes through resistor R2 in the feedback of the operational amplifier. Due to the high gain, the feedback tries to keep the input close to the potential of the non-inverting input. The input voltage of the converter U1 is close to zero as well as the input resistance. The output voltage of the circuit represents the voltage drop induced by the current I on the resistor R2. The resistance of resistor R2 must be chosen so that the output voltage is in the linear range. If the operational amplifier output becomes saturated, the wiring does not work. Since the amplification of the converter was not sufficient, another amplification stage implemented by the operational amplifier TL072 was used.



*Fig. 7. Schematic of current-voltage converter*

The dependence of the output current on the position of the levitating object is :

$$I = al + b \tag{18}$$

Where the coefficients a, b of equation (18) can be determined using the least squares method.

$$a = \frac{\sum_{i=1}^{14} l_i \cdot \sum_{i=1}^{14} l_i^2 - \sum_{i=1}^{14} l_i \cdot \sum_{i=1}^{14} I_i l_i}{14 \cdot \sum_{i=1}^{14} l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{14} l_i\right)^2} \tag{19}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{14} I_i l_i - \left(\sum_{i=1}^{14} l_i\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{14} I_i\right)}{14 \cdot \sum_{i=1}^{14} l_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{14} l_i\right)^2} \tag{20}$$

By substituting the measured values into equations we get the resulting coefficients a, a b:

$$I = 14,45l - 2,12 \tag{21}$$



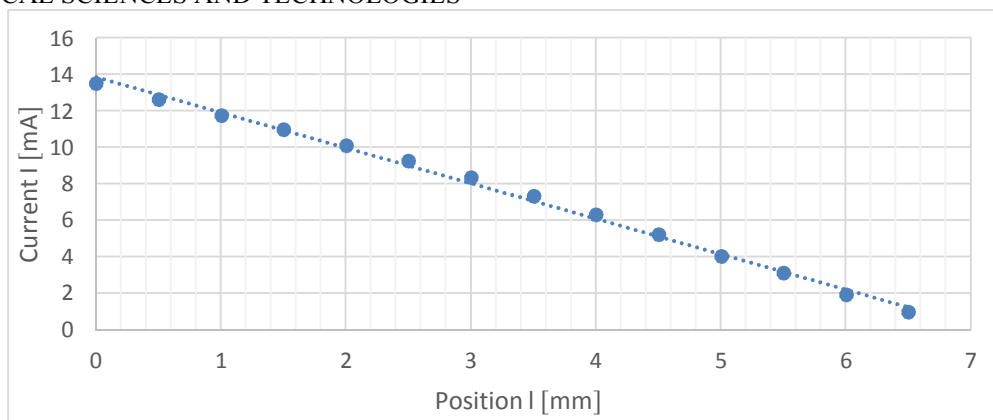


Fig. 8. Graphical representation of current versus distance

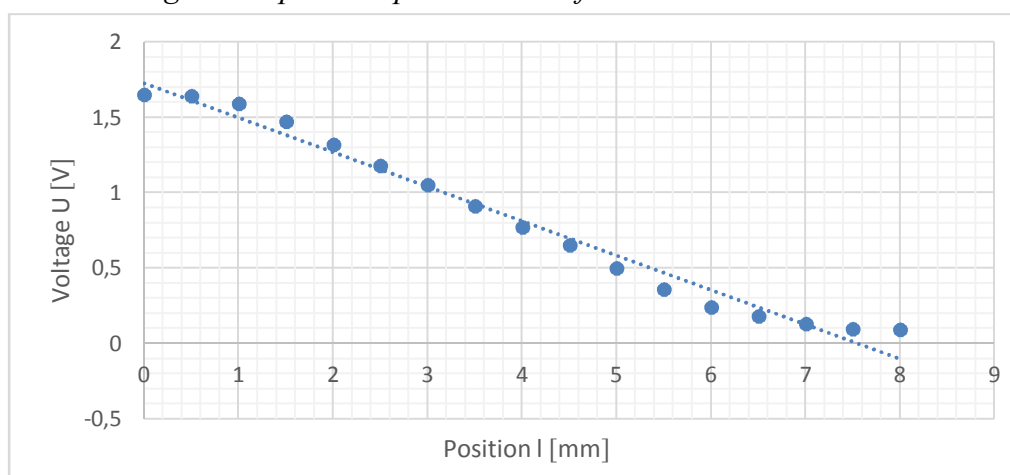


Fig. 9. Graphical representation of voltage versus distance

From the measured data it can be seen that the working range of the sensor is 6.5 mm, while the dependence is linear. Transfer functions of the sensor have the following form:

$$G_{sn} = \frac{\Delta I}{\Delta l} \tag{22}$$

$$G_{sn} = \frac{\Delta U}{\Delta l} \tag{23}$$

**Conclusions.** In this work we defined the mathematical model of the magnetic levitation system and subsequently derived the transfer function of the levitation system and the position sensor. From the experimental verification of the shadow method for the determination of the position of the levitating object and the consequent need for regulation, we found that the dependence of the position of the levitating object on current and voltage on the photodiode is linear in the active region [1-11].

**Acknowledgement.** The authors would like to thank to Slovak Grant Agency – project KEGA 018TUKE-4/2018 “Implementation of new technologies and educational methods in the field of control systems to improve education level and practical skills of graduates of Mechatronics” and project VEGA 1/0389/18, “Research and development of kinematic redundant mechanisms”.

### References

1. LEMMON, T., JUNG, R., (2005). Trimble S6 with MagDrive servo technology. White Paper. Trimble Survey, Westminster, Colorado, USA. Online <http://www.geotechmabna.com/catalogues/Papers/2total/4.pdf>.
2. Reich, Štefan. (2003). Návrh funkčného modelu magnetickej levitácie: Diplomová práca. Košice : TU – SjF, 2003.

3. Prada, Erik. (2009) Bezdotyková snímacia jednotka polohy levitujúceho objektu: Bakalárska práca. Košice : TU – SjF, 2009.
4. Valašteková, Radka. (2009). Návrh snímača polohy a akčného člena pre didaktický model magnetickej levitácie: Diplomová práca. Košice : TU – SjF.
5. Prada, E., Baločková, L., Surovec, R. (2012). Experimentálne overenie snímača polohy levitujúceho objektu. II. VEDECKÁ KONFERENCIA DOKTORANDOV, KOŠICE, 2012.
6. Gmíterko, A., Kelemen, M., Dovica, M., Capák, M. (1999). Miniature mobile robot for moving in a tube with small diameter. Proceedings of the 2nd International Conference Mechatronics and Robotics '99, Brno, Czech Rep., 1999, 67-70, ISBN 80-214-0604-6.
7. VITKO, A., JURIŠICA, L., BABINEC, A., DUCHOŇ, F., KEÚČIK, M. (2010). Some Didactic Problems of Teaching Robotics. Proceedings of the 1st International Conference Robotics in Education 2010. Bratislava, 16.-17. 9. 2010, Bratislava, Slovak University of Technology in Bratislava, ISBN 978-80-227-3353-3, 27-30.
8. Havlík, Š., Hricko, J., Prada, E., & Jezný, J. (2020). Linear motion mechanisms for fine position adjustment of heavy weight platforms doi:10.1007/978-3-030-19648-6\_3.
9. I. Virgala et al., "Positioning of Pneumatic Actuator Using Open-Loop System", Applied Mechanics and Materials, Vol. 816, pp. 160-164, 2015.
10. E. Prada et al., "Simulation and Determination of the Influence of the Gait Function on the Change of the Shape of a Snake-Like Robot", Applied Mechanics and Materials, Vols. 789-790, pp. 636-642, 2015.
11. SPANIKOVA, G., SPANIK, P., FRIVALDSKY, M. et al. (2017). Electric model of liver tissue for investigation of electrosurgical impacts. Electrical Engineering, 99 (4), 1185-1194. doi.org/10.1007/s00202-017-0625-0.

UDC 621.3:[681.5+681.6]

*Ерік Прада*

## ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕДАВАЛЬНОЇ ФУНКЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛІ МАГНІТНОЇ ЛЕВІТАЦІЇ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА

*Актуальність теми дослідження.* Керування положенням об'єктів, що левітують, має великий потенціал в застосуваннях, пов'язаних з осажденнями та в різноманітних системах позиціонування. Магнітна левітація виключає пряме механічне зчеплення між рухомими частинами.

*Постановка проблеми.* Використовуваний метод екранування вимірювань – один із методів визначення положення об'єкта, що левітує. Шляхом комбінування елементів позиціонування та регулювання, досягається контроль зворотного зв'язку. Використання заданого типу вимірювання має переваги в місцях, де використання інших методів не є доцільним.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Проблема магнітної левітації вирішується багатьма науково-дослідними лабораторіями, які мають прямий зв'язок із практичними дослідженнями. Проблема, яка в даний час вирішується в області магнітної левітації, – це регулювання стану об'єкта, що левітує, за допомогою різних типів регуляторів.

*Постановка завдання.* Виведення математичної моделі магнітної левітації та дослідження нелінійної системи з наступною лінеаризацією за допомогою ряду Тейлора. Експериментальне визначення характеристик та залежностей між положенням об'єкта, та керуючими напругою та струмом.

*Виклад основного матеріалу.* Положення об'єкта, що левітує, визначається шляхом затінення оптичного датчика. Джерелом світла виступає лазер.

*Висновки відповідно до статті.* У даній роботі визначено математичну модель системи магнітної левітації, що згодом дозволило отримати передавальну функцію системи левітації та датчика положення. З експериментальної перевірки методом затінення для визначення положення об'єкта, що левітує, та відповідно до цього положення, необхідності в регулюванні, було встановлено, що залежність положення об'єкта, що левітує, від струму та напруги на фотодіоді є лінійною в активній області.

**Ключові слова:** магнітна левітація; оптичний датчик; лазерний модуль; детектування руху.

Рис.: 9. Бібл.: 11.

**Erik Prada** – Doctor of Technical Sciences, Research Fellow, Technical University of Kosice Department of Mechatronics, Faculty of Mechanical Engineering (Park Komenského 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**Ерік Прада** – дослідник, кандидат технічних наук, Технічний університет Кошице (Park Komenského 8, 04200 Košice, Slovak Republic).

**E-mail:** erik.prada@tuke.sk

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-7226-1240>

**ResearcherID:** R-3524-2016

**Scopus Author ID:** 55873860000

*Олександр Литвин, Василь Скляр, Владислав Сікалюк, Дмитро Сахно*

## УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ЕЛЕКТРОБАГІ ПОДВІЙНОГО ЗАСТОСОВУВАННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток багі на електроприводі для військового призначення з можливістю підзарядки від сонячних панелей, які мають значну кількість переваг у порівнянні з багі з двигунами внутрішнього згорання.

**Постановка проблеми.** В умовах дефіциту енергоресурсів, інтенсивного забруднення навколишнього середовища та світових економічних кризових явищ, інноваційні транспортні засоби, такі як електромобілі та електротранспорт загалом є одними з найбільш перспективних видів транспортних засобів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи технологію підзарядки від сонячних панелей.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Недостатньо досліджено питання конструктивної розробки системи живлення допоміжного обладнання електричного багі від альтернативних джерел енергії.

**Постановка завдання.** Мета статті – привернути увагу вчених, фахівців та споживачів до вирішення питань швидкого розвитку масового виробництва електробагі, зокрема багі для використання у військовій сфері в Україні; визначити важливі першочергові заходи, які необхідні для забезпечення швидкого та ефективного впровадження електробагі для військового призначення.

**Виклад основного матеріалу.** Використання у військовій сфері багі на електроприводі із системою рекуперативного гальмування з підзарядкою від сонячних панелей, а саме патрулювання в гірській місцевості, є достатньо ефективним завдяки запасу ходу, який буде досить великим при застосуванні цієї системи. При цьому перевагою електробагі є велика маневреність, невелика маса і простота конструкції.

**Висновки відповідно до статті.** Розглянуто багі на електроприводі для військового призначення як один з різновидів електротранспорту в Україні. Визначено переваги багі в порівнянні з автомобілями з двигунами внутрішнього згорання.

**Ключові слова:** електробагі; електротранспорт; сонячні панелі; електроенергія; електромобіль; електродвигун; рекуперація; військове призначення.

Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** В Україні є нагальна потреба в розвитку багі на електроприводі для військового призначення, які мають значну кількість переваг у порівнянні з багі з двигунами внутрішнього згорання.

**Постановка проблеми.** В умовах дефіциту енергоресурсів, інтенсивного забруднення навколишнього середовища та світових економічних кризових явищ, інноваційні транспортні засоби, такі як електромобілі та електротранспорт загалом є одними з найбільш перспективних видів транспортних засобів [1]. Але змова монополістів, які володіють джерелами видобутку вуглеводнів, відсутність новітньої автотранспортної інфраструктури, інноваційних доріг, відповідних заправних станцій та станцій технічного обслуговування нового покоління, стоянок гальмують розвиток та впровадження електромобілів у сучасних умовах [2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням проблеми функціонування автотранспорту та розвитку автомобільної інфраструктури у своїх працях приділяли увагу такі відомі вчені, як Б. В. Буркінський, Ю. Ф. Гутаревич, О. М. Котлубай, В. В. Лифар, В. П. Мікловда, А. М. Редзюк, О. В. Рябова, Д. К. Прейгер, В. Г. Шинкаренко, І. Р. Юхновський та ін. [2]. Але аспекти розвитку, впровадження та виробництва електромобілів є ще не достатньо вивченими на сьогодні [3].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Недостатньо досліджено питання конструктивної розробки системи живлення допоміжного обладнання електричного багі від альтернативних джерел енергії.

**Постановка завдання.** Мета статті – привернути увагу вчених, фахівців та споживачів до вирішення питань швидкого розвитку масового виробництва електробагі, зокрема багі для використання у військовій сфері в Україні; спрогнозувати перспективи впровадження та експлуатації електробагі та їх конкурентної спроможності; порівняти військові багі в Україні та світі; порівняти переваги і недоліки багі виробників інших країн, визначити важливі першочергові заходи, які необхідні для забезпечення швидкого та ефективного впровадження електробагі для військового призначення.

**Виклад основного матеріалу.** Електромобіль – це транспортний засіб, який приводиться в рух електричним двигуном і призначений для перевезення людей, вантажів, буксирування причепів та транспортних засобів, виконання різного виду робіт та послуг [3]. Нині електромобілі ще не здатні створити серйозну конкуренцію традиційним бензиновим та дизельним автомобілям через їхню високу вартість, невеликі відстані пробігу, малу циклічність акумуляторних панелей, відсутність сучасних швидкісних електричних заправних станцій. Але з кожним роком завдяки інноваційним технологіям ці недоліки постійно нівелюються [4].

У сучасних електромобілях може використовуватися як електродвигун постійного, так і змінного струму. Його основним завданням є передача обертового моменту на привод електромобіля. Основними відмінностями сучасного електричного двигуна для автомобіля від традиційного електромеханічної машини є велика потужність і компактні розміри, викликані обмеженістю доступного простору. Характеризуються сучасні електричні двигуни потужністю, максимальним обертовим моментом, напругою, струмом, а також частотою обертання.

Перевагами електродвигуна є:

- мала вага і досить компактні розміри;
- довговічність,
- простота експлуатації;
- екологічність;
- максимальний обертовий момент доступний уже з  $0 \text{ хв}^{-1}$ ;
- високий ККД;
- немає необхідності в коробці передач;
- можливість рекуперації енергії.

За конструктивним виконанням електродвигуни поділяються на:

- колекторні: перемикачем струму в обмотках і датчиком положення ротора є той же самий пристрій – електротехнічний комутатор [2]. Працює переважно на постійному струмі. Проте сучасні електродвигуни, так звані універсальні колекторні двигуни, можуть одночасно працювати на постійному і змінному струмі [4];

- безколекторні: вентильні двигуни постійного струму виконані у вигляді замкнутої системи з датчиком положення ротора, інвертором і перетворювачем координат [3].

Багі – це невеликий легкий всюдихід для їзди по бездоріжжю. Цей вид транспорту використовується як для цивільного, так і для військового призначення.

Одними з найактивніших експлуатантів армійських багі є збройні сили США. Тут на озброєнні перебуває понад 20 видів багі виробництва різних компаній. Спочатку основним їх призначенням було патрулювання кордонів США. Також ці автомобілі добре підходять для дій у пустелі, проведення диверсійних вилазок і ведення розвідки. Зазвичай вони є носіями легкого озброєння, а їхній екіпаж складається з 2-3 чоловік. Військові конфлікти в Афганістані та Іраку показали, що поліпшення броньованого захисту позашляховиків неминуче веде до зростання їхньої маси і втрати можливості виконувати ряд розвідувальних завдань. У цій ситуації їм доводиться поступатися легким транспортним засобам, що володіють високою маневреністю, швидкістю, малої помітністю на місцевості й порівняно невеликою ціною [5].

Нині в Україні багі працює лише на двигунах внутрішнього згорання. Але в цій статті ми розглянемо багі як один із різновидів саме електротранспорту, тобто транспортний засіб на електроприводі з можливістю підзарядки від сонячних панелей.

Багі має такі переваги:

- легкість конструкції і управління;
- хороша маневреність;
- міцні шасі;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- міцна рама;
- стійкість на будь-якій поверхні;
- високий кліренс (звідси висока прохідність по бездоріжжю і скелястій місцевості), простота в обслуговуванні;
- швидкість, динаміка розгону.

Також на розвиток і впровадження електромобілів дуже сильно впливає прогрес нових видів акумуляторних панелей та систем рекуперації електроенергії [4]. Ефективність процесу рекуперації електроенергії залежить від багатьох чинників: типу транспортного засобу, електричного двигуна, акумуляторних панелей, але загалом цей показник становить 60-70 %. Системи рекуперативного гальмування втрачають 10-20 % від захопленої енергії, після цього втрачають ще стільки ж у процесі її перетворення в заряд для акумуляторних панелей. Ці показники стандартні для більшості транспортних засобів, включаючи електромобілі. Отже, використання системи рекуперативного гальмування дозволяють повернути 70 % кінетичної енергії, втраченої під час гальмування, щоб потім знову використовувати її для прискорення транспортного засобу. Загалом сам факт того, що ми навчилися зберігати хоч і не 100 %, а лише невелику частку кінетичної енергії за допомогою рекуперативного гальмування та стали використовувати її для підзарядки акумуляторних батарей, є важливим фактором для збільшення запасу ходу [5].

Використання у військовій сфері багі на електроприводі із системою рекуперативного гальмування з підзарядкою від сонячних панелей, а саме патрулювання в гірській місцевості, є достатньо ефективним завдяки запасу ходу, який буде досить великим при застосуванні цієї системи. Також перевагою є велика маневреність, невелика маса і простота конструкції. Автомобіль може застосовуватися як дозорно-розвідувальний автомобіль, машина вогневої підтримки підрозділів, для доставки боєприпасів, для патрулювання, евакуації поранених або як командно-штабний транспорт [3].

Дуже важливо на цьому етапі зменшити вагу акумуляторів без втрати їхньої ємності. Для збільшення запасу ходу та покращення мобільності електромобілів треба звернути увагу на розміщення на самих транспортних засобах додаткових джерел виробітку електроенергії, таких як сонячні панелі [1]. Це підвищить їхній коефіцієнт корисної дії і в перспективі дасть можливість електромобілям більш суттєво конкурувати з іншими автомобілями, які використовують системи двигунів внутрішнього згоряння [2]. Збільшення частки електромобілів вплине не тільки на модернізацію автомобілебудування, але й на реструктуризацію національної економіки загалом, оскільки зменшиться потреба в газі та нафтовій сировині, що в свою чергу також суттєво зменшить забруднення навколишнього середовища [3].

*Порівняння з іншими моделями.* Перші багі з'явилися в США в 1950-і роки. Для їх виготовлення зазвичай використовували старі, які не використовуються, автомобілі Фольксваген Жук. Від зменшувальної форми назви Фольксвагена «Жук» - Volkswagen Bug і утворилося слово «buggy» – «жучок». У процесі переробки з машин знімали кузов, крила, двері, а у ролі несучої конструкції встановлювали полегшену раму або кузов зі скловолокна, також у деяких випадках залишалася урізана версія штатного кузова Фольксвагена. Завдяки міцності шасі і прохідності «Жука», відсутності радіатора, високому дорожньому просвіту, а також задньому розташуванню двигуна цей популярний і знаний донині легковий автомобіль ідеально підходив для створення на його базі багі. Популярності багі сприяла і вседоступність легкового автомобіля Volkswagen Bug.

На початку 1980-х років каліфорнійська компанія Chenoweth виграла армійський контракт на створення швидкого військового багі, здатного легко пересуватися по піщаних дюнах, перевозячи при цьому істотну масу зброї і різного бойового спорядження. Уже в 1982 році на світ з'явився перший армійський багі, який пішов у серійне виробництво, FAV - Fast Attack Vehicle.

Fast Attack Vehicle оснащувалися дволітровими двигунами повітряного охолодження компанії Volkswagen, що розвивають максимальну потужність 200 л.с, 4-ступінчастою коробкою перемикачів передач, а також незалежною підвіскою. Автомобіль важив 960 кг і міг проїхати на одній заправці 320 кілометрів. Максимальна швидкість багі становила близько 130 км/ч. Характерною особливістю багі був легкий кузов, який виготовлявся з високоміцних сталевих трубчастих конструкцій (рама й арка безпеки), а також розташування трансмісії і двигуна в кормі корпусу. Як озброєння могли використовуватися 7,62-мм і 12,7-мм кулемети, гранатомети, ПТРК або ПЗРК, додатково могла бути встановлена радіостанція [6]. Згодом багі отримав нове позначення DPV – Desert Patrol Vehicle (буквально – транспорт для патрулювання пустелі).

Багі DPV був побудований на базі автомобіля VW Beetle. На трубчастій рамі встановлювалася передня торсіонна підвіска, а ззаду розташовувався опозитний двигун повітряного охолодження. Рама обшивалась листовою сталлю. Екіпаж багі FAV / DPV складався з 3 чоловік. Двоє з них розташовувалися традиційно, як у звичайному автомобілі (один – водій, другий – стрільба з кулемета, читання карт), ще один член екіпажу розташовувався у верхній надбудові, що знаходиться над силовим агрегатом. Він міг вести вогонь із кулемета або гранатомета.

Подальшим розвитком багі DPV став новий автомобіль LSV – Light Strike Vehicle (буквально перекладається як легкий ударний транспорт). Можливе озброєння було істотно розширене і могло складатися з: 12,7-мм кулемета M2, 5,56-мм кулемети M249 SAW LMG, 7,62-мм кулемета M60 або M240 серії GPMG. Також могли використовуватися два протитанкових гранатомети AT4 або один ПТРК BGM-71 TOW.

Найбільш розвинуті армійські багі Advanced LSV, побудовані на базі автомобіля Humvee, отримали власну назву Flyer («літун»), що лише підкреслює хороші швидкісні характеристики машин. Згідно з інформацією виробника кути в'їзду і з'їзду даних багі становлять 59 і 50 градусів відповідно. Нова модель багі вже встигла довести свою мобільність і вогневу міць. Завдяки наявності кругової турелі стрілок може вести вогонь на 360 градусів, не розгортаючи для цього багі. Як додаткове озброєння можуть використовуватися легкі кулемети й переносні протитанкові і протиповітряні комплекси. Кожна з дверей багі може бути оснащена туреллю для установки 7,62-мм і 5,56-мм кулеметів. Існують варіанти багі ALSV, призначені для транспортування поранених і перевезення вантажів, а також машини, які оснащені бронєю і призначені для безпосередньої участі в бойових операціях. При цьому багі ALSV, як і раніше, залишаються компактними, можлива їх перевезення по повітрю транспортними вертольотами CH-47 Chinook або CH-53 Sea Stallion [6].

В Україні розробкою багі для військових цілей займаються на базі навчально-наукового Центру з розвитку і підтримки технічного забезпечення Збройних сил України, який діє при Вінницькому національному технічному університеті [4]. Науковці та студенти розробили легкий тактичний автомобіль, а його виготовленням зайнялись спеціалісти приватної компанії, яка розробляє та ремонтує військову техніку [2]. Машина обладнана потужним 2-літровим турбодизелем і здатна розвивати швидкість понад 130 км/год по шосе та швидко долати нерівну місцевість [3]. Машина має відмінні показники подолання ділянок із пересіченою місцевістю завдяки незалежній підвісці, повному приводу і високому кліренсу. При цьому сам автомобіль має відносно невелику висоту, що робить його менш помітним. Також він працює істотно тихіше за інші наявні на озброєнні автомобілі.

Основною перевагою перед представленими автомобілями є те, що багі нашої розробки обладнається двома безщітковими електродвигунами змінного струму.

Перевагою електричного двигуна перед двигуном внутрішнього згоряння є :

- великий крутний момент;
- велика потужність при малих розмірах;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- динамічність;
- безшумність роботи;
- легкий і швидкий «запуск», який не залежить від погодних умов;
- екологічність.

Електродвигун є надійною системою в роботі автомобіля, у той час як ДВС має велику кількість деталей та датчиків, при виході з ладу яких двигун втрачає потужність.

Під час експлуатації при відмові одного з електричних двигунів, автомобіль зможе працювати на другому, у той час як багі з ДВС стануть нерухомим.

Важливим внеском у конструкцію електричного багі є встановлення альтернативних джерел енергії, а саме гнучких сонячних панелей, які зможуть виробляти енергію для підзарядки силових акумуляторів автомобіля, а також акумулятори різних електричних приладів (рації, ліхтарі, електроінструмент). Такий внесок збільшує автономність транспортного засобу і фактично не збільшує вагу автомобіля [6].

У світі останніх подій автомобіль може обладнуватись бездротовою зарядкою. Тобто при використанні бездротової зарядки автомобіль, находячись на стоянці, зможе заряджати акумулятори без використання дротів. Це дає змогу зменшити час реагування екіпажу, адже водію чи команді при швидкому реагуванні не потрібно від'єднувати зовнішні пристрої зарядки акумуляторів.

У разі відсутності бездротової зарядної системи автомобіль можна заряджати від напруги 380В або 220В.

**Висновки відповідно до статті.** З наведеного вище можна зробити висновок, що в Україні існує нагальна потреба в розвитку багі на електроприводі для військового призначення, які мають значну кількість переваг у порівнянні з багі з двигунами внутрішнього згоряння.

#### Список використаних джерел

1. Електромобілі. *Історія завдовжки в століття*. URL: <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/elektromobili-istoriya-zavdovzhki-v-stolittya>.
2. Етапи розвитку електромобілів і їх конструкції. *Електромобіль: техніка та економіка*. URL: <http://uk.shram.kiev.ua/megafaza/history/electromobi.shtml>.
3. Електромобілі. *Розвиток електромобілів*. URL: <http://www.novaecologia.org/voecos-1356-1.html>.
4. Електрокари. *Україна – країна-лідер Європи на ринку продажів електромобілів*. URL: [http://zaxid.net/news/showNews.do?ukrayina\\_uviyshla\\_v\\_desyatku\\_krayinlideriv\\_yevropi\\_na\\_rinku\\_prodazhiv\\_elektromobiliv&objectId=1407380](http://zaxid.net/news/showNews.do?ukrayina_uviyshla_v_desyatku_krayinlideriv_yevropi_na_rinku_prodazhiv_elektromobiliv&objectId=1407380).
5. Шевчук Я. В. *Автотранспортна інфраструктура: теорія і методи сучасних регіональних досліджень*. Ужгород: Ліга-Прес, 2011. 367 с.
6. Шевчук Я. В., Губані Г. Г., Чобаль Л. Ю. Соціально-економічні аспекти розвитку виробництва інноваційних транспортних засобів. *Науковий вісник Ужгородського університету*. Ужгород, 2015. Вип. 2(46). С. 154–160.

#### References

1. Elektromobili. Istoriya zavdovzhky v stilittya [Electric cars. The story goes back centuries] (2019). Retrieved from <http://www.eco-live.com.ua/content/blogs/elektromobili-istoriya-zavdovzhki-v-stolittya>.
2. Etapy rozvytku elektromobiliv i jih konstruktzii. Elektromobil: tehnika ta ekonomika [Stages of development of electric vehicles and their construction. Electric vehicle: technology and economy] (2019). Retrieved from <http://en.shram.kiev.ua/megaphase/history/electromobi.shtml>.
3. Elektromobili. Rozvytok elektromobiliv. [Electric vehicles. Development of electric automobiles] (2019). Retrieved from <http://www.novaecologia.org/voecos-1356-1.html>.
4. Elektrokary. Ukraina – krajina-lider Yevropy na rynku prodazhiv elektromobiliv [Electric cars. Ukraine is a leading European country in the market of sales of electric vehicles] (2019). Retrieved from [http://zaxid.net/news/showNews.do?ukrayina\\_uviyshla\\_v\\_desyatku\\_krayinlideriv\\_yevropi\\_na\\_rinku\\_prodazhiv\\_elektromobiliv&objectId=1407380](http://zaxid.net/news/showNews.do?ukrayina_uviyshla_v_desyatku_krayinlideriv_yevropi_na_rinku_prodazhiv_elektromobiliv&objectId=1407380).

5. Shevchuk, Y. V. (2011). *Avtotransportna infrastruktura: teoriya i metody suchasnyh regionalnyh doslidzen [Motor transport infrastructure: theory and methods of modern regional research]*. Uzhgorod: Liga-Press [in Ukrainian].

6. Shevchuk, Y. V., Gubani, G. G., Chobal, L. Y. (2015). Sotsialno-ekonomichni aspekty rozvytku vyrobnytsva innovatsijnyh transportnyh zasobiv [Socio-economic aspects of the development of innovative vehicles production]. *Uzhgorod University Scientific Bulletin*, 2 (46), 154-160 [in Ukrainian].

UDC 621

*Oleksandr Lytvyn, Vasyl Sklyar, Vladyslav Sikaliuk, Dmytro Sahno*

## IMPROVING THE ELECTRICAL COMPONENT OF DUAL-USE ELECTROBUG

**Urgency of the research.** It is development of the bugs with electric drive for military usage with the ability to recharge from solar panels which have a significant number of advantages over bugs with internal combustion engines.

**Target setting.** In the conditions of energy scarcity, intense pollution of the environment and the global economic crisis, innovative vehicles, such as electric cars and electric vehicles, are in general one of the most promising types of vehicles.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent open source publications have been reviewed, including solar panel recharge technology.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The issues of constructive development of the power supply system for the accessory electrical buggy equipment from alternative energy sources are not sufficiently investigated.

**The research objective.** The purpose of the article is to draw the attention of scientists, specialists and consumers to solving the issues of rapid development of mass production of the electrobugs, in particular bugs for use in the military sphere in Ukraine; identify important priority measures that are needed to ensure the rapid and effective implementation of the electrobugs for military usage.

**The statement of basic materials.** The use of bugs in the military field on electric propulsion with a solar-powered rechargeable braking system, namely patrolling in the mountainous terrain, is quite effective due to the power reserve, which will be quite large when using this system. The advantage of the electrobug is its high maneuverability, low weight and simplicity of construction.

**Conclusions.** The bugs on electric drive for military purposes have been considered as one of the types of electric transport in Ukraine. The advantages of bugs in comparison with cars with internal combustion engines have been determined.

**Keywords:** electrobug; electric transport; solar panels; electricity; electric car; electric motor; recuperation; military purposes.

**References:** 6.

**Литвин Олександр Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Lytvyn Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associated Professor of the Department of Automobile Transport and Sectorial Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** xpover4718@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5243-3970>

**ResearcherID:** J-1479-2016

**Скляр Василь Михайлович** – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sklyar Vasyl** – PhD student of the Department of Automobile Transport and Sectorial Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** uslhj@meta.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0563-6887>

**ResearcherID:** J-1138-2016

**Сікалюк Владислав Сергійович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sikaliuk Vladyslav** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vladsikaliuk99@gmail.com

**Сахно Дмитро Романович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sahno Dmytro** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

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



Олег Сінчук, Сергій Бойко, Олексій Городній,  
Андрій Некрасов, Максим Федь, Марина Ножнова

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПОТЕНЦІАЛУ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УМОВАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ПІДПРИЄМСТВ

**Актуальність теми дослідження.** Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30 % від вартості її вироблення. Наявні методики для проєктування системи електропостачання віддалених споживачів переважно розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню, електропостачання за рахунок генерації електроенергії на базі відновлювальних джерел енергії, або за рахунок використання котелень, дизель-генераторів. Між тим, освоєння потенціалу відновлювальних джерел енергії – це технічно важкореалізоване нині завдання, яке пов'язане з низькою щільністю потоку енергії від відновлювальних джерел енергії і залежністю їх від природних умов. Вартість отримання енергії, хоча вона і щорічно знижується, залишається значно вище, ніж у традиційних енергоресурсів, а необхідних кардинальних технічних рішень поки немає.

**Постановка проблеми.** Проблематикою цієї роботи є синтез методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізрудних підприємств, враховуючи особливості та специфіку їх експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Об'єднання на паралельну роботу розосередженої генерації та мережі дасть синергетичний ефект – появу нових властивостей, яких не було у складових частинах, що проявляється, зокрема, у зниженні нерегулярності сумарного графіка навантаження об'єднаних систем, зниженні його нерівномірності в добовому, тижневому й сезонному розрізах, зменшенні залежності частоти електричного струму від коливань балансу потужності. У попередніх дослідженнях нами обґрунтовано позитивний ефект від впровадження джерел розосередженої генерації в умовах промислових підприємств, а саме модульність, надійність, місцеве керування, зменшення негативного впливу на екологію та малий пусковий період.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Враховуючи складність технологічного процесу та специфіку функціонування гірничих підприємств, актуальним науково-практичним завданням є розробка методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізрудних підприємств, враховуючи специфіку їх функціонування.

**Постановка завдання.** Отже, актуальним науково-практичним завданням є синтез методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізрудних підприємств, що дозволить ефективно впроваджувати джерела розосередженої генерації у структуру електропостачання залізрудних підприємств.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення потенціалу відновлювальних джерел енергії, що входять до складу джерел розосередженої генерації в умовах залізрудних підприємств, необхідно мати як можна повніші й чіткі дані про електропостачання і електроспоживання навантаження електрообладнанням залізрудного підприємства протягом доби, а також наявність даних про витрати електричної енергії в електромережі електропостачання і електроспоживання навантаження.

**Висновки відповідно до статті.** На залізрудних підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії. Запропонований метод визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізрудних підприємств дозволить ефективно впроваджувати розосереджену генерацію до структури їх електропостачання.

**Ключові слова:** розосереджена генерація; електропостачання підприємств; потенціал розосереджених джерел енергії; залізрудні підприємства.

Рис.: 1. Бібл.: 11.

**Постановка проблеми.** Аналіз досягнень сучасної енергетики показує, що децентралізовані енергосистеми з використанням джерел розосередженої генерації можуть бути надзвичайно прибутковою сферою для капіталовкладень, якщо є можливість розміщувати джерела генерації енергії поблизу споживачів. Зазвичай витрати на передачу енергії сягають 30 % від вартості її вироблення [1].

Наявні методики для проєктування системи електропостачання віддалених споживачів в основному розглядають як альтернативу централізованому електропостачанню, електропостачання за рахунок генерації електроенергії на базі відновлювальних джерел енергії (ВДЕ), або за рахунок використання котелень, дизель-генераторів.

Між тим, освоєння потенціалу ВДЕ – це технічно важкореалізоване нині завдання, яке пов'язане з низькою щільністю потоку енергії від ВДЕ і залежністю їх від природних умов. Вартість отримання енергії, хоча вона і щорічно знижується, залишається значно вище, ніж у традиційних енергоресурсів, а необхідних кардинальних технічних рішень поки немає.

Технологічне об'єднання енергії ВДЕ і енергії вуглеводневого палива в одній системі має суттєві техніко-економічні переваги. Ця перевага полягає у високій енергетичній ефективності, недосяжній в існуючих системах енергопостачання, у простоті інтеграції з додатковими генеруючими потужностями на основі ВДЕ з будь-яким ступенем заміщення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Об'єднання на паралельну роботу ДРГ та мережі дасть синергетичний ефект – появу нових властивостей, яких не було у складових частинах, що проявляється зокрема в зниженні нерегулярності сумарного графіка навантаження об'єднаних систем, зниженні його нерівномірності в добовому, тижневому й сезонному розрізах, зменшенні залежності частоти електричного струму від коливань балансу потужності [3].

У попередніх дослідженнях нами обґрунтовано позитивний ефект від впровадження джерел РГ в умовах промислових підприємств, а саме модульність, надійність, місцеве керування, зменшення негативного впливу на екологію та малий пусковий період [1; 8].

**Визначення недосліджених частин загальної проблеми.** Отже, актуальним науково-практичним завданням є розробка методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізрудних підприємств, враховуючи специфіку їх функціонування.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є синтез методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізрудних підприємств, що дозволить ефективно впроваджувати джерела розосередженої генерації до структури електропостачання залізрудних підприємств.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення потенціалу ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП, необхідно мати як можна повніші й чіткі дані про електропостачання (ЕП) і електроспоживання (ЕС) навантаження електрообладнанням (ЕО) залізрудного підприємства (ЗРП) протягом доби, а також наявність даних про витрати електричної енергії (ЕЕ) в електромережі (ЕМ) ЕП і ЕС (рис. 1).

Наступним кроком є аналіз ЕС насосами при відкачуванні води протягом доби в різних тарифних зонах та інтервалах часу, враховуючи режими використання насосів різних типів (різної потужності), в умовах не використання ВДЕ, що входять до складу ДРГ, до оптимізації графіка роботи насосів, обчисливши сумарну спожиту електричну енергію насосами за формулою:

$$\sum W_{\text{розр}}^{\text{сп.нас.}} = (C - \delta_{PS}^{\tau}) \sum W_{\text{розр}}^{\text{сп.нас. bS}} \cdot$$

де тут і далі  $(C - \delta_{PS}^{\tau})$  – кількість насосів, які працювали в тарифній зоні S, в інтервалах часу  $\tau$ , C – загальна кількість насосів,  $\delta_{PS}^{\tau}$  – насоси, P типу, які були в резерві в тарифній зоні S, в інтервалі часу  $\tau$ ,  $\sum W_{\text{розр}}^{\text{сп.нас. bS}}$ ,  $\sum W_{\text{оптим}}^{\text{сп.нас. bS}}$  – сумарне ЕС насосів за різними тарифними зонами відповідно розрахункове та оптимальне.

Потім необхідно виконати необхідні розрахунки ЕС насосами ЗРП при оптимізації графіка роботи насосів протягом доби, за формулою:

$$\sum W_{\text{оптим}}^{\text{сп.нас.}} = (C - \delta_{PS}^{\tau}) \sum W_{\text{оптим}}^{\text{сп.нас. bS}}$$

Якщо після оптимізації графіка роботи насосів ЕС менше ніж до оптимізації (так):  $(C - \delta_{PS}^{\tau}) \sum W_{\text{розр}}^{\text{сп.нас. bS}} > (C - \delta_{PS}^{\tau}) \sum W_{\text{оптим}}^{\text{сп.нас. bS}}$ , то переходять до іншого етапу – аналізу витрат електричної енергії, а якщо нерівність не виконується (ні), то повертаються до аналізу ЕС насосами ЗРП до оптимізації графіка роботи насосів.

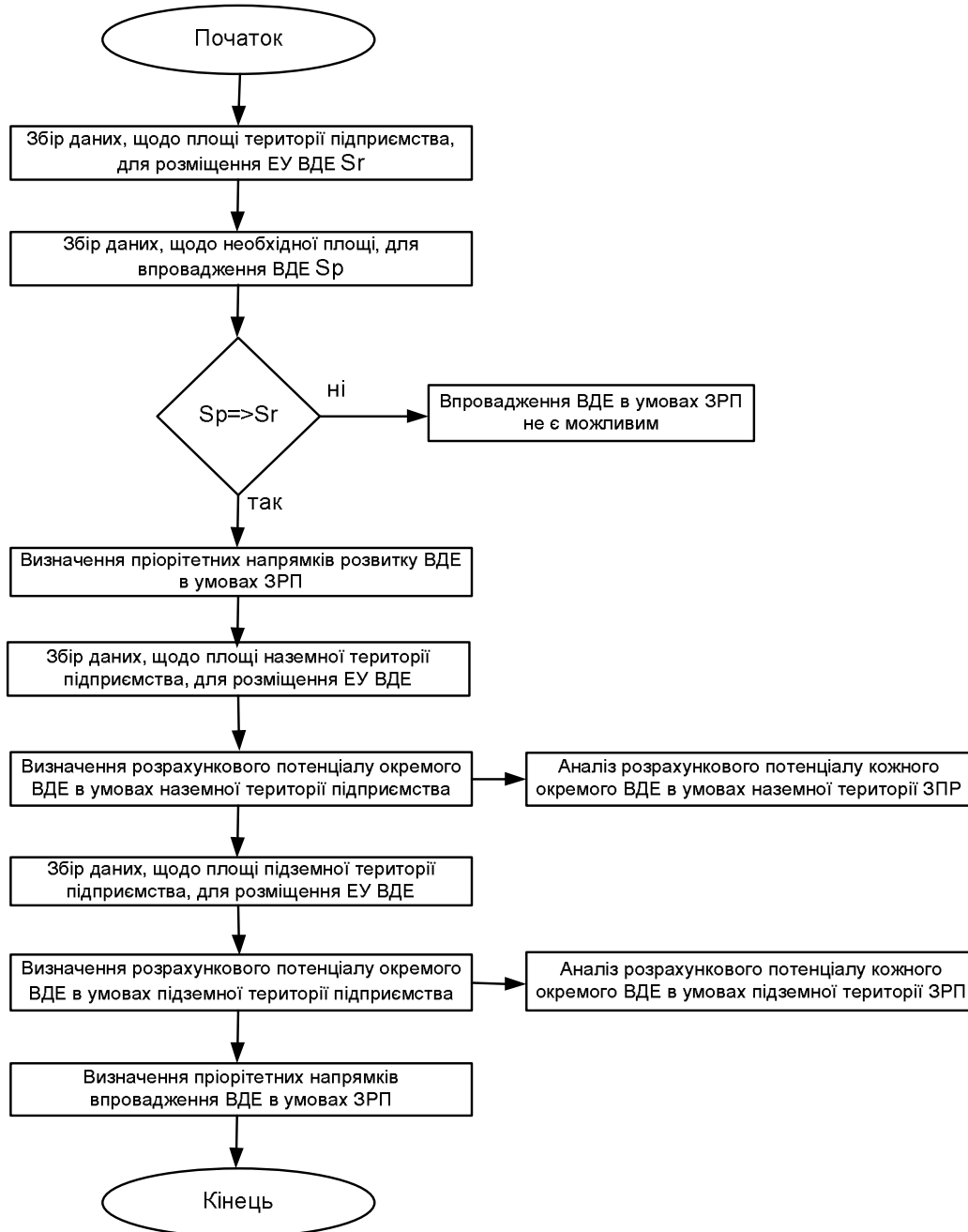


Рис. 1. Алгоритм методу визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізорудних підприємств

Обчисливши витрати електричної енергії в ЕМ до використання ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП  $\sum W_{\text{втр. qS розр}}^{\tau}$  та витрати електричної енергії в ЕМ після впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ в умовах ЗРП  $\sum W_{\text{ВДЕ}}^{\tau}$  та порівнявши їх  $\sum W_{\text{ВДЕ}}^{\tau} < \sum W_{\text{розр}}^{\tau}$ , то при виконанні нерівності (так) переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то повертаються на початок аналізу витрат ЕМ.

Потім обчислюють вартість можливої закумуляованої електричної енергії ГАЕС протягом тарифної зони «ніч» ( $S_3$ ) за формулою:

$$B_3^{\text{ГАЕС}} = \left( W_{\text{ГАЕС}T_3}^{\tau_3} \cdot \eta_3 \right) \cdot k_3 \cdot T$$

де тут і далі  $B$  – вартість можливої закумуляованої електричної енергії ГАЕС протягом тарифної зони  $S$ ,  $\eta_s^\tau$  – коефіцієнт визначення типу режиму роботи ГАЕС і акумуляторних батарей (АБ),  $k$  – кількість обладнання,  $T$  – час роботи,  $W_{ГАЕС\tau_3}^{\tau_3}$  – спожита (закумуляована або передана в ЕМ) електрична енергія ГАЕС в тарифній зоні  $S$ , в інтервалі часу  $\tau$ , протягом доби.

Вартість переданої в ЕМ ЕС ЗРП від ГАЕС протягом тарифних зон «пік» ( $S_1$ ) і «<sup>n</sup>/пік» ( $S_2$ ) визначають за формулою:

$$B_1 + B_2 = \sum \left( W_{ГАЕС\tau_1}^{\tau_1} \cdot \eta_1^{\tau_1} \right) \cdot k_1 \cdot T + \sum \left( W_{ГАЕС\tau_2}^{\tau_2} \cdot \eta_2^{\tau_2} \right) \cdot k_2 \cdot T$$

Якщо виконується нерівність (так)  $(B_3^{ГАЕС}) < (B_1^{ГАЕС}) + (B_2^{ГАЕС})$ , то переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то переходять до попередніх етапів обчислення вартості закумуляованої та переданої електричної енергії в ЕМ ЕС ЗРП.

На цьому етапі обчислюють вартість закумуляованої електричної енергії акумуляторними батареями (АБ) протягом тарифної зони «ніч» ( $S_3$ ) за формулою:

$$B_3^{АБ} = \sum \left( W_{АБd_3}^{\tau_3} \cdot \eta_3^{\tau_3} \right) \cdot k_3 \cdot T,$$

де  $W_{АБd}^\tau$  – спожита (аккумуляована) або передана в ЕМ АБ в тарифних зонах  $S$ , в інтервалах часу  $\tau$ , протягом доби.

Вартість електричної енергії переданої в ЕМ ЕС ЗРП від акумуляторних батарей протягом тарифних зон «пік» ( $S_1$ ) і «<sup>n</sup>/пік» ( $S_2$ ) визначають за формулою:

$$B_1^{АБ} + B_2^{АБ} = \sum \left( W_{АБd_1}^{\tau_1} \cdot \eta_1^{\tau_1} \right) \cdot k_1 \cdot T + \sum \left( W_{АБd_2}^{\tau_2} \cdot \eta_2^{\tau_2} \right) \cdot k_2 \cdot T$$

Якщо виконується нерівність (так)  $(B_3^{АБ}) < (B_1^{АБ}) + (B_2^{АБ})$ , то переходять до наступного етапу, а якщо не виконується (ні), то переходять до попередніх етапів обчислення вартості закумуляованої та переданої електричної енергії в ЕМ ЕС ЗРП.

Обчислення та аналіз ЕС і ЕП згенерованого сумарного потенціалу ДРГ здійснюється за формулою:

$$\sum W_{ji}^{st} = \sum_{\text{облад.}} W_{\text{спож.рS}}^\tau + \sum_{\text{наsx}} W_{\text{спож.бS}}^\tau + \sum W_{\text{втр. qS}}^\tau + \sigma_s^\tau \cdot \sum W_{ГАЕС\tau_s}^\tau \cdot \tau_s^\tau + \gamma_s^\tau \cdot \sum W_{АБ\tau_s}^\tau \cdot \eta_s^\tau - \sum W_{ЗЕМ_s}^\tau.$$

де  $\sum W_{\text{спож.рS}}^\tau$  – сумарна спожита електрична енергія ЕС ЗРП типу  $p$  протягом тарифних зон  $S$ , в інтервалах часу  $\tau$ , протягом доби,  $\sum W_{\text{спож.бS}}^\tau$  – сумарна спожита електрична енергія працюючими насосами в тарифній зоні  $S$ , інтервал часу  $\tau$  (протягом доби),  $\sum W_{\text{втр. qS}}^\tau$  – сумарна втрата електричної енергії в ЕМ ЗРП протягом тарифної зони  $S$ , в інтервалі часу  $\tau$  протягом доби,  $\sigma_s^\tau \sum W_{ГАЕС\tau_s}^\tau \cdot \tau_s^\tau$  – сумарна спожита (закумуляована або передана) в ЕМ електрична енергія ГАЕС в тарифній зоні  $S$ , в інтервалі часу  $\tau$ , протягом доби,  $\sigma_s^\tau$  – коефіцієнт передачі або акумулявання електричної енергії ГАЕС в тарифній зоні  $S$ , в інтервалі часу  $\tau$ ,  $\gamma_s^\tau \sum W_{АБ\tau_s}^\tau \cdot \eta_s^\tau$  – сумарна спожита (аккумуляована) або передана в ЕМ АБ в тарифних зонах  $S$ , в інтервалах часу  $\tau$ , протягом доби,  $\gamma_s^\tau$  – коефіцієнт передачі або акумулявання електричної енергії АБ в тарифній зоні  $S$ , в інтервалі часу  $\tau$ ,  $\sum W_{ЗЕМ_s}^\tau$  – сумарна спожита електрична енергія ЕС ЗРП в тарифних зонах  $S$ , в інтервалах часу  $\tau$ , протягом доби.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Потім обчислюють рівень ЕП електричної енергії із зовнішньої електромережі (ЗЕМ) у різних тарифних зонах (S) за формулою:

$$\sum W_{ЗЕМ_S}^{\tau} = \sum W_{ЗЕМ_{S_1}}^{\tau_1} + \sum W_{ЗЕМ_{S_2}}^{\tau_2} + \sum W_{ЗЕМ_{S_3}}^{\tau_3} .$$

де  $\sum W_{ЗЕМ_{S_1}}^{\tau_1}$ ,  $\sum W_{ЗЕМ_{S_2}}^{\tau_2}$ ,  $\sum W_{ЗЕМ_{S_3}}^{\tau_3}$  – рівні ЕП електричної енергії із зовнішньої електромережі у 1, 2 та 3 тарифних зонах відповідно.

Обчислюють вартість спожитої електричної енергії обладнанням ЗРП із ЗЕМ протягом доби по різних тарифних зонах (S) за формулою:

$$B_{\sum_{ЗЕМ_S}^{\tau}} = B_{\sum_{ЗЕМ_{S_1}}^{\tau_1}} + B_{\sum_{ЗЕМ_{S_2}}^{\tau_2}} + B_{\sum_{ЗЕМ_{S_3}}^{\tau_3}} = \sum W_{ЗЕМ_S}^{\tau} = \sum W_{ЗЕМ_{S_1}}^{\tau_1} \cdot k_1 \cdot T + \sum W_{ЗЕМ_{S_2}}^{\tau_2} \cdot k_2 \cdot T + \sum W_{ЗЕМ_{S_3}}^{\tau_3} \cdot k_3 \cdot T$$

та сумарної вартості можливої згенерованої електричної енергії ДРГ у умовах ЗРП ( $B_{\sum_{ВДЕ}}$ ).

$$\text{Якщо виконується (так) рівність: } B_{\sum_{ВДЕ}} = B_{\sum_{облад.}^{спож.}} + B_{\sum_{насос.}^{спож.}} + B_{\sum_{втрат.}} - B_{\sum_{ЗЕМ}} - B_{\sum_{AV}}$$

, (де  $B_{\sum_{ВДЕ}}$  – сумарна вартість можливої згенерованої електричної енергії ВДЕ у умовах ЗРП,  $B_{\sum_{облад.}^{спож.}}$ ,  $B_{\sum_{насос.}^{спож.}}$  – сумарна вартість спожитої електричної енергії обладнанням та насосами відповідно,  $B_{\sum_{втрат.}}$  – загальна вартість втрат електричної енергії,  $B_{\sum_{ЗЕМ}}$ ,  $B_{\sum_{AV}}$  – загальна вартість електроенергії спожита з загальної мережі та від акумуляторних батарей відповідно), то переходимо до наступного стану, якщо не виконується (ні), то переходять до попереднього етапу (обчислення ЕП із ЗЕМ).

Потім необхідно з'ясувати можливості короткочасного мінімального забезпечення ЕС електрообладнанням ЗРП якщо ЕП із ЗЕМ недостатнє ( $W_{ЗЕМ} \rightarrow 0$ ), тобто

$W_{\sum_{ВДЕ}} = \sum_{спож.обл.}^{\min}$ , та резервно необхідного рівня електрозабезпечення ЕС ЗРП у критичних умовах, коли ЕП із ЗЕМ,  $W_{ЗЕМ} = 0$  тобто  $W_{рез.необх} \leq W_{\sum_{ВДЕ}}$ . Якщо обидві умови виконуються (так), тоді переходять до розрахунку параметрів ДРГ та аналізують можливості їх використання в умовах ЗРП, а якщо вищеперелічені умови не виконуються (ні), тоді переходять до попередніх етапів обчислення можливого забезпечення необхідних рівнів енергопостачання ДРГ при недостатньому ЕП із ЗЕМ та в критичних умовах ЕП із ЗЕМ.

Детально аналізують параметри різних типів ВДЕЕ, їх режимів генерації електричної енергії, вартість обладнання експлуатації, можливої вартості розміщення, вибраних типів ДРГ, в умовах ЗРП, а також можливі терміни окупності, в умовах ЗРП, тобто обчислюють термін окупності оптимальний ( $T_{окуп.}^{онт.}$ ) і термін окупності розрахунковий ( $T_{окуп.}^{розр.}$ ).

Якщо виконується нерівність (так)  $T_{окуп.}^{онт.} > T_{окуп.}^{розр.}$ , тоді переходять до аналізу рівня впливу вибраних типів ДРГ для впровадження в умовах ЗРП, на екологію навколишнього середовища й виробничий процес.

Якщо рівень впливу ДРГ на екологію та виробничий процес в межах допустимих норм (так), тоді переходять до аналізу рівня впливу впроваджених ДРГ на собівартість залізорудної сировини (ЗРС), в умовах ЗРП, тобто розраховують собівартість ЗРС без впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ ( $CB_{без\ ВДЕ}^{ЗРС}$ ) і собівартість ЗРС після впровадження ВДЕ, що входять до складу ДРГ ( $CB_{впров.\ ВДЕ}^{ЗРС}$ ). Якщо виконується нерівність (так)  $CB_{без\ ВДЕ}^{ЗРС} > CB_{впров.\ ВДЕ}^{ЗРС}$ , то переходять до підготовки проектно-технічної документації для одержання дозволу на впровадження вибраних типів ДРГ, в умовах ЗРП, а якщо

не виконується (ні), то переходять до перегляду ЕС і ЕП в умовах ЗРП, тобто сумарного потенціалу ВДЕ, що входять до складу ДРГ.

Одержавши необхідні дозвільні документи та впровадження вибраних типів ВДЕЕ в умовах ЗРП переходять до підготовки технічної та проектно-кошторисної документації для розміщення у вибраних місцях об'єктів ДРГ та їх використання.

**Висновки відповідно до статті.** На залізородних підприємствах актуальним та можливим є впровадження в загальну структуру систем електроживлення розосередженої генерації на базі відновлюваних джерел енергії.

Запропонований метод визначення потенціалу розосереджених джерел енергії в умовах залізородних підприємств дозволить ефективно впроваджувати розосереджену генерацію до структури електропостачання залізородних підприємств.

#### Список використаних джерел

1. Синчук О. Н., Синчук І. О., Гузов Э. С., Бойко С. М., Яловая А. Н. Энергоэффективность железорудных производств. Оценка, практика повышения: монография. Кременчуг: Изд LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by OmniScriptum Management GmbH., 2016. 346 с.
2. Синчук О. М., Синчук І. О., Бойко С. М., Караманиць Ф. І., Ялова О. М., Пархоменко Р. О. Відновлювані джерела електричної енергії в структурах систем електропостачання залізородних підприємств. (Аналіз, перспективи, проекти): монографія. Кривий Ріг: Видавництво ПП Щербатих О.В., 2017. 152 с.
3. Бойко С. М., Синчук О. М., Синчук І. О., Мінаков І. А. Алгоритм вибору нетрадиційних та відновлювальних джерел електричної енергії до локальної системи електропостачання підприємств гірничо-видобувного комплексу. *Electronics and Communications*. 2016. Vol. 21. №5(94). С. 6-13.
4. Кармазін О. О. Проблеми вписування ВЕС в загальний баланс ОЕС України. *Відновлювана енергетика*. 2014. № 3. С. 70–76.
5. Кирик В. В., Губатюк О. С., Моссаковський В. І. Дослідження впливу джерел розподіленої генерації на режим роботи електричної системи. *Відновлювана енергетика XXI століття: матеріали XIV Міжнар. конф. Крим, 2013*. С. 141–143.
6. Федоров А., Садчиков С. Характеристики и алгоритмы формирования и отбора вариантов систем промышленного электроснабжения. *Электричество*. 1982. № 2. С. 1–5.
7. Кудря С. О., Морозов Ю. П., Кузнецов М. П. Дослідження ефективності комбінованого використання енергії вітру, сонця і теплоти землі для отримання водню при електролізі води. *Водень в альтернативній енергетиці та новітніх технологіях: тези доп. наукової звітної сесії НАН України*. Київ, 2013. С. 30.
8. Харитонов В. П. Автономные ветроэлектрические установки. Москва: ГНУ ВИЭСХ, 2006. 280 с.
9. Білолід В. Д., Таранець К. В. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього. *Проблеми загальної енергетики*. 2008. № 18. С. 40–47.
10. Бриль А. О., Васько В. П., Васько П. Ф., Пекур П. П. Енергетична сумісність вітроелектростанцій в складі централізованої електроенергетичної системи. *Нетрадиционная энергетика в XXI веке: III междунар. конф.: тези доп. (АР Крым, 2002)*. Київ: ІТТФ НАНУ, 2002. С. 113–115.
11. Головка В. М., Денисюк П. Л., Кириленко В. М. Аналіз принципів побудови локальних систем енерго-забезпечення на базі відновлювальних джерел енергії. *Відновлювана енергетика XXI століття: IX Міжнар. конф., 15–19 вересня 2008 р.: тези доп. Крим, 2008*. С. 124–125.

#### References

1. Sinchuk, O. N., Sinchuk, I. O., Guзов, E. S., Boyko, S. M., Yalova, A. N. (2016). Enerhoeffektivnost zhelezorudnykh proizvodstv. Otsenka, praktika povysheniia [Energy efficiency of iron ore industries. Evaluation, enhancement practice]. Kremenchug: LAP LAMBERT Academic Publishing is managed by Omni Scriptum Management GmbH [in Russian].
2. Sinchuk, O. M., Sinchuk, I. O., Boyko, S. M., Karamanitsy, F. I., Yalova, O. M., Parkhomenko, R. O. (2017). *Renewable sources of electricity in structures of power supply systems of iron ore enterprises. (Analysis, prospects, projects) [Vidnovliuvani dzhherela elektrychnoi enerhii v strukturakh system elektropostachannia zalizorudnykh pidpriemstv. (Analiz, perspektvyvy, proekty)]*. Kryvyi Rih: Publishing House PE Shcherbatyh O. V. [in Ukrainian].
3. Boyko, S. M., Sinchuk, O. M., Sinchuk, I. A., Minakov, I. A. (2016). Alhorytm vyboru netradytsyinykh ta vidnovliuvalnykh dzhherel elektrychnoi enerhii do lokalnoi systemy elektropostachannia

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

pidpriemstv hirnycho-vydobuvnoho kompleksu [Algorithm for choosing non-traditional and renewable electricity sources to the local power supply system of the mining and mining complex]. *Electronics and Communications*, 21, 5 (94), 6-13.

4. Karmazin, O. O. (2014). Problemy vpysuvannia VES v zahalnyi balans OES Ukrainy [Problems of WPP entry into the overall balance of the Ukrainian UPS]. *Vidnovliuvana enerhetyka – Renewable Energy*, 3, 70–76 [in Ukrainian].

5. Kyryk, V. V., Gubatiuk, O. S., Mossakovsky, V. I. (2013). Doslidzhennia vplyvu dzherel rozpodilenoї heneratsii na rezhym roboty elektrychnoi systemy [Investigation of the influence of distributed generation sources on the mode of operation of the electrical system]. Proceeding from *Vidnovliuvana enerhetyka KhKhI stolittia: materialy XIV Mizhnar. konf. – Materials XIV International. Conf. «Renewable Energy of the 21st Century»* (pp. 141–143). Crimea [in Ukrainian].

6. Fedorov, A., Sadchikov S. (1982). Kharakteristiki i algoritmy formirovaniia i otbora variantov sistem promyshlennogo elektrosnabzheniia [Characteristics and algorithms of formation and selection of variants of industrial power supply systems]. *Elektrichestvo – Electricity*, 2, 1–5 [in Russian].

7. Kudrya, S. O., Morozov, Yu. P., Kuznetsov M. P. (2013). Doslidzhennia efektyvnosti kombinovanoho vykorystannia enerhii vitru, sontsia i teploty zemli dlia otrymannia vodniu pry elektrolizi vody [Investigation of the Efficiency of Combined Use of Wind Energy, Sun and Earth Heat for Hydrogen Production at Water Electrolysis]. Proceeding from *Voden v alternatyvni enerhetytsi ta novitnikh tekhnolohiiakh: tezy dop. naukovoї zvitnoi sesii NAN Ukrainy – Hydrogen in Alternative Energy and the Newest Technologies: Abstracts. Scientific Reporting Session of NAS of Ukraine* (p. 30), Kyiv [in Ukrainian].

8. Kharitonov, V. P. (2006). *Avtonomnye vetroelektricheskie ustanovki [Autonomous wind farms]*. Moscow: GNU VIESH [in Russian].

9. Bilolid, V. D., Taranets, K. V. (2008). Mala enerhetyka ta yii znachennia v rehionalnykh systemakh maibutnoho [Small energy and its importance in regional systems of the future]. *Problemy zahalnoi enerhetyky – Problems of general energy*, 18, 40–47 [in Ukrainian].

10. Bryl, A. O., Vasko, V. P., Vasko, P. F., Pekur, P. P. (2002). Enerhetychna sumisnist vitroelektrostantsii v skladi tsentralizovanoi elektroenerhetychnoi systemy [Energy compatibility of wind power plants as a part of a centralized electric power system]. Proceeding from *Netraditsionnaia energetika v XXI veke: III mezhdunar. konf. – Unconventional energy in the 21st century: III international. conf.* (pp. 113–115). Kyiv: ITTF NASU [in Ukrainian].

11. Golovko, V. M., Denysyuk, P. L., Kirilenko, V. M. (2008). Analiz pryntsyviv pobudovy lokalnykh system enerho-zabezpechennia na bazi vidnovliuvalnykh dzherel enerhii [Analysis of the principles of construction of local systems of energy supply on the basis of renewable energy sources]. Proceeding from *Vidnovliuvana enerhetyka KhKhI stolittia: IKh Mizhnar. konf. – Renewable energy of the 21st century: IX International. Conf.* (September 15-19, 2008, pp. 124–125). Crimea [in Ukrainian].

UDC 621.311.4.031

Oleg Sinchuk, Serhii Boyko, Oleksiy Gorodny,  
Andrey Nekrasov, Maksim Fed, Maryna Nozhnova

## METHOD OF DETERMINING THE POTENTIAL OF DISTRIBUTED ENERGY SOURCES IN THE CONDITIONS OF STEEL ENTERPRISES

**Urgency of the research.** An analysis of the achievements of modern energy shows that decentralized grid systems using distributed generation sources can be an extremely profitable area for investment, if it is possible to place energy sources near consumers. Generally, energy transmission costs reach 30 % of the cost of generating energy. Existing techniques for designing the power supply system for remote consumers are generally considered as an alternative to centralized electricity supply, electricity supply through the generation of electricity based on renewable energy sources, or through the use of boilers, diesel generators. Meanwhile, harnessing the potential of renewable energy sources is a technically difficult task nowadays, which is associated with low energy flow density from renewable energy sources and their dependence on natural conditions. Although energy costs are reduced annually, the cost of obtaining energy remains much higher than traditional energy resources, and the necessary fundamental technical solutions do not yet exist.

**Target setting.** The problem of this work is the synthesis of the method of determining the potential of dispersed energy sources in the conditions of iron ore enterprises, taking into account the peculiarities and specifics of their operation

**Actual scientific researches and issues analysis.** Combining the distributed generation and the network in parallel will give a synergistic effect - the emergence of new properties that were not in the components, which is manifested, in particular, in reducing the irregularity of the total load schedule of the combined systems, reducing its irregularity in the daily, weekly and seasonal cuts, reducing the dependence of the frequency of electric current on fluctuations in the power balance. In previous studies, the authors substantiate the positive effect of the introduction of distributed generation sources in the conditions of industrial enterprises, namely modularity, reliability, local control, reduction of negative impact on the environment and small start-up period.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Given the complexity of the technological process and the specifics of the operation of the mining enterprises, an urgent scientific and practical task is to develop a method for determining the potential of dispersed energy sources in the conditions of iron ore enterprises, taking into account the specifics of their operation.

**The research objective.** Thus, an urgent scientific and practical task is to synthesize the method of determining the potential of dispersed energy sources in the conditions of iron ore enterprises, which will allow to effectively introduce the sources of dispersed generation into the power supply structures of iron ore enterprises.

**The statement of basic materials.** To determine the potential of renewable energy sources that are part of the sources of distributed generation in the conditions of iron ore enterprises, it is necessary to have as complete and clear data on the power supply and power consumption of the electrical equipment load of the iron ore enterprise during the day, as well as the availability of data on electricity consumption in the power grid and power grid power consumption of the load.

**Conclusions.** At the iron ore enterprises it is relevant and possible to introduce into the general structure of power systems of the distributed generation on the basis of renewable energy sources.

The proposed method of determining the potential of dispersed energy sources in the conditions of iron ore enterprises will allow to effectively introduce dispersed generation in the power supply structures of iron ore enterprises.

**Keywords:** distributed generation; power supply of enterprises; potential of dispersed energy sources; iron ore enterprises.

**Fig.:** 1. References: 11.

**Сінчук Олег Миколайович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті, Криворізький національний університет (вул. Віталія Матусевича, 11, м. Кривий Ріг, 50027, Україна).

**Sinchuk Oleg** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Chair of the Department of Automated Electromechanical Systems in Industry and Transport, Kryvyi Rih National University (11 Vitaliy Matusevich Str., 50027 Kryvyi Rih, Ukraine).

**Email:** speet@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7621-9979>

**ResearcherID:** [https://www.researchgate.net/profile/Oleg\\_Sinchuk](https://www.researchgate.net/profile/Oleg_Sinchuk)

**Бойко Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, завідувач відділення авіаційного транспорту, електроенергетики і управління, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Boiko Serhii** - PhD in Technical Sciences, Head of the Air Transport, Power and Control Department, Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6 Peremohy Str., Kremenchuk, 39605, Ukraine).

**E-mail:** bsn1987@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

**Scopus:** ID 56417478200

**Городній Олексій Миколайович** - кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, Чернігів, 14035, Україна).

**Gorodny Olexsiy** – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** aleksey.gorodny@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

**Web of Science:** H-1425-2016

**Scopus:** ID 55327980200; ID 56338229500; ID 57191829796

**Некрасов Андрій Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

**Nekrasov Andrey** – PhD in Technical Sciences, Kremenchuk National University of Michaylo Jstrogradskiy (17/6, Perchotravneva Str., 39600 Kremenchuk, Ukraine).

**E-mail:** boikosn2017@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3507-1987>

**Федь Максим Михайлович** – аспірант, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

**Fed Maksim** – PhD Student, Kremenchuk National University of Michaylo Jstrogradskiy (Pershotravneva Str., 20, 39600 Kremenchuk, Ukraine).

**Ножнова Марина Олександрівна** – викладач, Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Nozhnova Maryna** – lecturer, Kremenchuk Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs (17/6, Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

**E-mail:** marina.nozhnova@yahoo.com



Юрій Денисов, Олексій Городній, Олег Середа

## СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА КОНТУРУ КУТА КРЕНУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КВАДРОКОПТЕРА З КОМПЕНСУЮЧИМ РЕГУЛЯТОРОМ КОНТУРУ СТРУМУ

**Актуальність теми дослідження.** Постановка теми дослідження викликана необхідністю підвищення якості енергетики та динаміки в системах управління польотом безпілотних літальних апаратів (БПЛА), враховуючи їх зростаючу роль у промисловій, побутовій та військовій сферах.

**Постановка проблеми.** У системах керування польотом БПЛА з чотирма несучими гвинтами (квадрокоптер) процеси керування впливають на процеси споживання електроенергії від бортового акумулятора. Втрати потужності в силових компонентах систем керування квадрокоптером можна знизити, якщо усунути вплив пульсації проти-е.р.с. електродвигуна на форму струму, що споживається від акумулятора. Досягнення цієї мети можливе за рахунок реалізації необхідних законів керування в контурах системи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз відомих публікацій за темою дослідження показав, що в них не приділено уваги питанням економного використання енергетичного ресурсу акумулятора. Основна увага приділяється удосконаленню процесів управління та навігації без урахування їх зв'язків з енергетичними процесами.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Існування поставленої проблеми є наслідком неврахування впливу процесів управління на якість процесів енергоспоживання. Це проявляється в тому, що в наявних одноконтурних системах керування квадрокоптером регулятор настраюється на необхідну швидкодію та перерегулювання без урахування впливу закону керування на якість енергетичних процесів, тобто без контролю форми струму, що споживається.

**Постановка завдання.** Відомі системи керування квадрокоптером мають один контур регулювання. Для контролю струму, що споживається від акумулятора, необхідно мати контур струму та контур швидкості, що підкорюється головному контуру кута крену. Система керування польотом БПЛА повинна мати три контури регулювання.

**Виклад основного матеріалу.** Для триконтурної системи керування польотом квадрокоптера виконано синтез цифрового регулятора головного контуру, котрий регулює кут крену. Процедура синтезу включає в себе врахування впливу пропорційно-інтегрального регулятора з астатизмом другого порядку, який включений у контур струму для компенсації пульсації проти-е.р.с. безколекторного двигуна постійного струму (БДПС). У результаті синтезу отримана структура і параметри ланок регулятора контуру кута крену у вигляді цифрового рекурсивного фільтра.

**Висновки відносно статті.** Синтезовано цифровий регулятор контуру кута крену для триконтурної системи управління квадрокоптером. Регулятор дозволяє стабілізувати процес польоту з економією енергетичного ресурсу бортового акумулятора.

**Ключові слова:** квадрокоптер; модифіковане z-перетворення; оптимізація; цифровий фільтр; енергоефективність.

Рис.: 2. Бібл.: 4.

**Актуальність теми дослідження.** Враховуючи зростаючу потребу в безпілотних літальних апаратах для народного господарства, військової сфери та наукових досліджень, вимоги до їх енергоефективності та динаміки постійно підвищуються. Задоволення цих потреб дозволить подовжити час польоту за рахунок економного споживання енергії акумулятора, підвищити швидкодію з мінімальним перерегулюванням. Вирішення цих питань є актуальною необхідністю.

**Постановка проблеми.** Необхідно підвищити тривалість польоту квадрокоптера завдяки оптимізації процесу енергоспоживання від бортового акумулятора та оптимізувати перехідні процеси в системі керування його польотом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Результат аналізу сучасного стану поставленої проблеми показав, що у відомих публікаціях [2; 3] основна увага приділяється питанню управління та навігації без оцінки якості процесів енергоспоживання бортовим навантаженням.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У відомих працях, що присвячені системам керування польотом квадрокоптера, не досліджені питання збільшення тривалості польоту за рахунок оптимізації управління процесом енергоспоживання, не враховано вплив пульсації струму на вході комутатора БДПТ, а також пульсації його проти-е.р.с. на енергетичні характеристики замкнутої системи керування.

**Постановка завдання.** Необхідно подовжити час польоту квадрокоптера за рахунок економного споживання енергії від акумулятора. Поставлену задачу можна вирішити за рахунок компенсації факторів, які спотворюють форму струму.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі [1] запропонована триконтурна система підпорядкованого регулювання для управління приводом кожної осі обертання квадрокоптера. У ній внутрішні контури струму та частоти обертання підпорядковані головному контуру кута крену. Контур струму містить ПІ-регулятор для компенсації електричної сталої БДПС. Але тільки така функція регулятора не дозволяє усунути вплив проти-е.р.с. БДПС на форму струму, що споживається від акумулятора. Спотворення форми струму споживання призводить до збільшення втрат потужності в електродвигуні. Включення в контур ПІ-регулятора з астатизмом другого порядку, передавальна функція якого визначається як:

$$K_{кр}(p) = \frac{R(p^2 T_M T_E + p T_M + 1)}{p^2 T_M T_C K_{СУ} K_C}, \quad (1)$$

дозволяє компенсувати вплив проти-е.р.с. електродвигуна на форму струму, що споживається. В(1):  $R$  – активний опір фазної обмотки;  $T_M, T_E, T_C$  – електромеханічна, електрична сталі та стала інтегрування,  $K_{СУ}, K_C$  – коефіцієнт передачі системи управління автономного інвертора напруги (АІН) та датчика струму. Крім пульсацій проти-е.р.с. БДПТ на форму струму, що споживається, на коефіцієнт підсилення системи управління впливають пульсації вхідного струму АІН. Для їх усунення на виході датчика струму та на вході системи управління необхідно включити фільтр що призведе до появи в контурі струму некомпенсованого елемента з передавальною функцією  $K_{НС}(p) = \frac{1}{p T_{НС} + 1}$ , де  $T_{НС}$  – не компенсована стала часу. Вона визначається параметрами фільтрів. З урахуванням передавальних функцій компенсуючого регулятора та некомпенсованого елемента триконтурна структурна схема регулювання [1] після перетворення має вигляд, як на рис. 1.

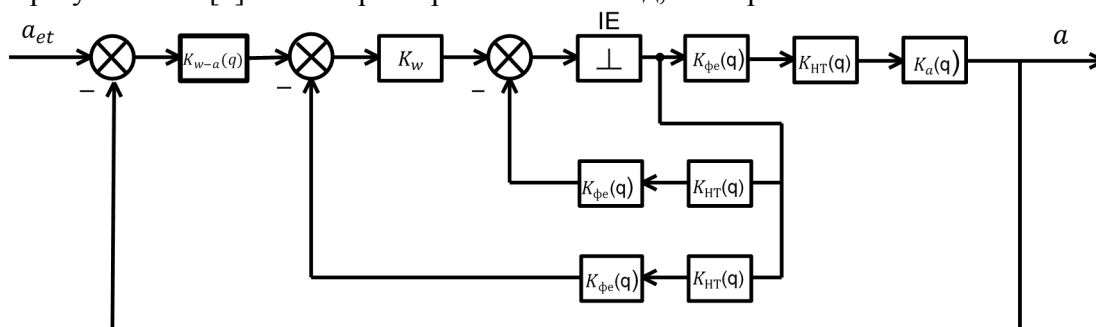


Рис. 1. Триконтурна структурна схема регулювання [1] після перетворення

У перетвореній структурній схемі керування польотом квадрокоптера, де  $K_{\phi e}(q) = \frac{1-e^{-q}}{q}$ ,  $K_{HT}(q) = \frac{K_0}{q(q+\beta)}$ ,  $K_{\alpha}(q) = \frac{T}{q T_{\alpha}}$  – передавальні функції формуючого елемента, неперервної частини контуру, датчика кута крену;  $q = pT, T$  – період вихідної напруги АІН;  $K_0 = \frac{T^2}{T_T T_{НС}}$ ,  $\beta = \frac{T}{T_{НС}}$ ,  $T_{\alpha}$  – постійна інтегрування датчика кута крену,  $K_w$  – коефіцієнт підсилення пропорційного регулятора контуру частоти обертання.

Дискретну передавальну функцію кола зворотного зв'язку контуру струму знайдемо в результаті модифікованого  $z$ -перетворення:

$$W_{OT}^*(z, e) = Z_M[k_{qa}(q) \cdot k_{HT}(q)] = K_0 \left[ -\frac{1}{\beta^2} + \frac{(z-1)e^{-\beta e}}{\beta^2(z-e^{-\beta})} + \frac{1+e(z-1)}{\beta(z-1)} \right] \quad (2)$$

$0 \leq e \leq 1$ . Її значення в момент спрацювання імпульсного елемента  $W_{OT}^*(z, 1) = \lim_{e \rightarrow 1} [z^{-1} W_{OT}^*(z, e)]$ . З урахуванням (2) –  $W_{OT}^*(z, 1) = K_0 \frac{z k_1 + k_2}{(z-1)(z-e^{-\beta})}$ , де  $k_1 = \frac{\beta - 1 + e^{(-\beta)}}{\beta^2}$ ,  $k_2 = \frac{1 - e^{-\beta}(1+\beta)}{\beta^2}$ .

Дискретна передавальна функція замкнутого контуру струму в момент спрацювання імпульсного елемента:

$$W_{3T}^*(z, 1) = \frac{1}{1+W_{0T}^*(z,1)} = \frac{(z-1)(z-e^{-\beta})}{(z-1)(z-e^{-\beta})+K_0(zK_1+K_2)} \tag{3}$$

Передавальна функція розімкнутого контуру частоти обертання:

$$W_{pw}^*(z, 1) = W_{3T}^*(z, 1) \cdot K_w \tag{4}$$

Дискретна передавальна функція замкнутого контуру частоти обертання:

$W_{3W}^*(z, 1) = \frac{W_{pw}^*(z,1)}{1+W_{pw}^*(z,1) \cdot W_{0W}^*(z,1)}$ , де  $W_{0W}^*(z, 1) = W_{0T}^*(z, 1)$  передавальна функція зворотного зв'язку контуру частоти обертання. З урахуванням (3), (4) маємо:

$$W_{3w}^*(z, 1) = \frac{(z-1)(z-e^{-\beta}) \cdot K_w}{(z-1)(z-e^{-\beta})+(1+K_w)K_0(zK_1+K_2)} \tag{5}$$

У контурі швидкості можна реалізувати процес кінцевої тривалості, якщо виконати наступну умову –  $(1 + e^{-\beta}) + (1 + K_w)K_0K_1=0$ ;  $e^{-\beta} + (1 + K_w)K_0K_1 = 0$ , що дозволяє закінчити процес в контурі швидкості за два періоди вихідної напруги АІН. З другої умови  $K_0 = \frac{e^{-b}}{(1+K_w)K_2}$ . З його врахуванням перша умова призводить до трансцендентного рівняння:  $e^{2\beta} - e^\beta - e = 0$ . Його рішення відповідає значення  $\beta \rightarrow 0,1$ . Оскільки  $\beta = \frac{T}{T_{nc}}$ , то величина  $T_{nc}=0.025$ с, якщо частота вихідної напруги АІН є 400 Гц, що дозволяє вибрати периметри фільтрів на виході датчиків струму та на вході системи керування. Стала інтегрування регулятора контуру струму повинна переважати не компенсовану сталу. Звичайно  $\bar{T}_T = 2\bar{T}_{nc}$ . З урахуванням цього коефіцієнт підсилення пропорційного регулятора контуру швидкості  $K_w = \frac{e^{-\beta}\beta}{T_T[e^{-\beta}(1+\beta-1)]} - 1$ , де враховано, що  $K_0 = \beta T_T$ ,  $K_2 = \frac{e^{-b}(1+\beta)-1}{\beta^2}$ , дискретна передавальна функція розімкненого контуру кута крену квадрокоптера  $W_{p\alpha}^*(z, 1) = W_{3w}^*(z, 1) \cdot W_{1\alpha}^*(z, 1)$ , де  $W_{1\alpha}^*(z, 1) = \lim_{\epsilon \rightarrow 1} z \left[ Z_M \left[ \frac{(1-e^{-b})K_{0\alpha}}{q^3(q+\beta)} \right] \right]$ , де  $K_{0\alpha} = K_0 \bar{T}_\alpha$ ,  $\bar{T}_\alpha = \frac{T}{T_\alpha}$ . Стала інтегрування датчика кута крену  $T_\alpha = 0,005$  с, тому що отримання інформації про швидкість обертання виконується з частотою 200 Гц.

У результаті перетворення маємо:

$$W_{1\alpha}^*(z, 1) = K_{0\alpha} \frac{z^2 b_2 + z b_1 + b_0}{(z-1)^2(z-e^{-b})} \tag{6}$$

де  $b_2 = \frac{\beta(\beta-1)+e^{-\beta}-1}{\beta^3}$ ,  $b_1 = \frac{(e^{-\beta}-1)[2-\beta(\beta-1)]}{\beta^3}$ ,  $b_0 = \frac{1-e^{-b}(1+\beta+\beta^3)}{\beta^3}$ , що відповідає значенню  $\epsilon = 1$ .

З урахуванням (5), (6) маємо:

$$W_{p\alpha}^*(z, 1) = K_{p0} \frac{z^2 b_2 + z b_1 + b_0}{[(z-1)(z-e^{-\beta})+(1+K_w)K_0(zK_1+K_2)](z-1)} \tag{7}$$

де  $K_{p0} = K_{0\alpha} K_w$ .

Відповідно до [4] виконаємо синтез регулятора кута крену квадрокоптера за критерієм швидкодії. Чисельник передавальної функції (7) розімкнутого контуру кута крену:

$$P^*(z, 1) = K_{p0} [z^2 b_2 + z b_1 + b_0].$$

Знаменник (7) без інтегратора та з інтегратором:

$$Q_1(z) = (z - 1)(z - e^{-\beta}) + (1 + K_w)K_0(zK_1 + K_2),$$

$$Q_1(z) = [(z - 1)(z - e^{-\beta}) + (1 + K_w)K_0(zK_1 + K_2)](z - 1).$$

Мінімальна кількість періодів вихідної напруги АІН, за які можливо закінчити процес у контурі кута крену квадрокоптера  $S_{мин} = l_0 + r_0 - 1$ , де  $l_0=3$  – порядок полінома  $Q(z)$ ,  $r_0 = 1$  – власний астатизм системи регулювання, котрий визваний наявністю в контурі кута датчика, що інтегрує швидкість обертання. Очевидно, що процес стабілізації кута крену квадрокоптера можна закінчити за три періоди вихідної напруги АІН,  $s_{мин} = 3$ . Для

цього необхідно виконати наступну умову  $P^*(z, 1) \cdot M^*(z, 1) + (z - 1)^2 \cdot N^*(z, 1) = z^3$ , де порядок полінома  $M^*(z, 1)$   $l_M \geq r - 1 = 0$ , а порядок полінома  $N^*(z, 1)$   $l_N \geq l_p \geq 2$ , де  $l_p$  – порядок чисельника передавальної функції розімкнутої системи.

У результаті маємо:

$$M^*(z, 1) = \alpha_0, N^*(z, 1) = C_0 + C_1Z + C_2Z^2.$$

З урахуванням (8) маємо:

$$K_{p0}[z^2b_2 + zb_1 + b_0]\alpha_0 + (C_0 + C_1Z + C_2Z^2)(z - 1) = z^3. \quad (9)$$

Прирівнюючи між собою коефіцієнти однакових степенів  $Z$  лівої та правої частин (9) маємо:

$$c_1 = \frac{b_1 + b_2}{\sum_0^2 b_k}, c_2 = 1, c_0 = \frac{b_0}{\sum_0^2 b_k}, a_0 = \frac{1}{k_{p0} \sum_0^2 b_k}.$$

Передавальна функція послідовної коригуючої ланки контуру кута крену квадрокоптера:

$$K_{p\alpha}^*(z, 1) = \frac{Q_1^*(z) \cdot M^*(z, 1)}{(z-1)^{r-r_0} \cdot M^*(z, 1)} \quad (10)$$

У результаті перетворень отримуємо:

$$K_p^*(z, 1) = \alpha_0 \cdot \frac{z^2 + \alpha_1 z + \alpha_0}{z^2 + c_1 z + c_0} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}^*[z, 1]}{\Delta U_{\text{вх}}^*[z, 1]}, \quad (11)$$

де  $\alpha_1 = k_1(1 + k_w)$ ,  $\alpha_0 = e^{-\beta} + k_2(1 + k_w)$ ,  $r_0 = 1$  – власний астатизм системи,  $r = 1$  – астатизм регулятора.

Розділимо чисельник і знаменник (11) на  $z^2$ . У результаті маємо:

$$\Delta U_{\text{вих}}^*[z, 1](c_1 z^{-1} + c_0 z^{-2}) = \Delta U_{\text{вх}}^*[z, 1](a_0 + a_0 a_1 z^{-1} + a_0 a_2 z^{-2}),$$

звідки

$$\Delta U_{\text{вих}}^*[z, 1] = \Delta U_{\text{вх}}^*[z, 1](a_0 + a_0 a_1 z^{-1} + a_0 a_2 z^{-2}) - \Delta U_{\text{вих}}^*[z, 1](1 + c_1 z^{-1} + c_0 z^{-2}).$$

Оригінал різницевого рівняння, що отримано:

$$\Delta U_{\text{вих}}^*[n, 1] = \sum_{k=0}^2 \Delta U_{\text{вх}}^*[n - k, 1] \cdot \mu_k - \sum_{k=1}^2 \Delta U_{\text{вих}}^*[n - k, 1] - \eta_k.$$

Його рішення виконує рекурсивний цифровий фільтр, структурна схема якого представлена на рис. 2.

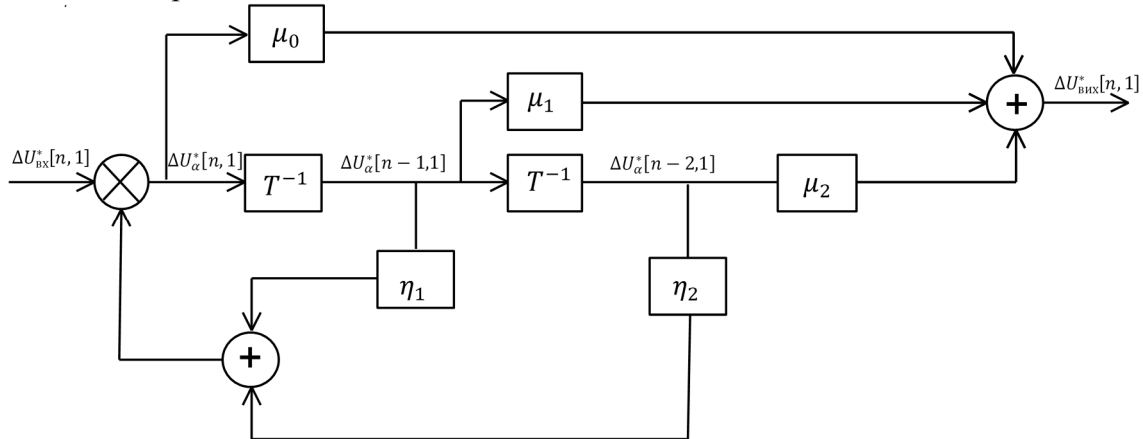


Рис. 2. Структурна схема рекурсивного цифрового фільтра

де  $\Delta U_{\alpha}^*[n, 1] = \Delta U_{\text{вх}}^*[n, 1] - \{\Delta U_{\alpha}^*[n - 1, 1] \cdot \eta_1 + \Delta U_{\alpha}^*[n - 2, 1] \cdot \eta_2\}$  – відхилення помилки контуру кута крену;  $\Delta U_{\text{вх}}^*[n, 1]$  – відхилення сигналу на вході регулятора;  $\Delta U_{\text{вих}}^*[n, 1]$  – відхилення вхідного сигналу регулятора кута крена. Він є сигналом задання для контуру частоти обертання;  $T^{-1}$  – ланка затримки на один період вихідної напруги АІН;  $\mu_0 = \frac{1}{K_{p0} \sum_0^2 b_k}$ ,  $\mu_1 = \frac{k_1(1+k_w)}{K_{p0} \sum_0^2 b_k}$ ,  $\mu_2 = \frac{e^{-\beta} k_2(1+k_w)}{K_{p0} \sum_0^2 b_k}$ ,  $\eta_1 = \frac{b_1 + b_2}{\sum_0^2 b_k}$ ,  $\eta_2 = \frac{b_0}{\sum_0^2 b_k}$  – параметри налаштування регулятора кута крену.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Очевидно, що параметри ланок зворотного зв'язку рекурсивного фільтра  $\eta_1, \eta_2$  залежать лише від відносної некомпенсованої постійної  $\beta$ . Параметри ланок прямого передавання  $\mu_0, \mu_1, \mu_2$  окрім цього залежать і від відносної сталої інтегрування контуру струму  $T_C$  та від коефіцієнта підсилення регулятора контуру швидкості  $K_w$ .

Замкнена дискретна передавальна функція системи управління польотом квадрокоптера, що оптимізована за швидкістю:

$$W_{3 \text{ опт}}^*(z, 1) = P^*(z, 1) \frac{M^*(z, 1)}{z^3},$$

де  $P^*(z, 1) = K_{p0} [z^2 b_2 + z b_1 + b_0]$ ,

$$M^*(z, 1) = a_0 = \frac{1}{K_{p0} \sum_0^2 b_k}.$$

Коефіцієнт  $b_k$  визначено вище для  $\varepsilon = 1$ , тому що момент спрацювання імпульсного елемента відповідає лівому значенню сигналу на його вході.

Z-зображення перехідної характеристики оптимізованої замкнутої системи:

$$H_{3 \text{ опт}}^*(z, 1) = \frac{z}{z-1} \cdot W_{3 \text{ опт}}^*(z, 1) = \frac{z^3 b_2}{z^3 \cdot \sum_0^2 b_k(z, 1)} + \frac{z^2 (b_2 + b_1)}{z^3 \cdot \sum_0^2 b_k(z, 1)} + \frac{z \cdot \sum_0^2 b_k}{z^3 \cdot \sum_0^2 b_k(z, 1)}.$$

Оригінал її перехідної характеристики:

$$H_{3 \text{ опт}}^*(n, 1) = \frac{b_2}{\sum_0^2 b_k} [n, 1] + \frac{b_2 + b_1}{\sum_0^2 b_k} [n - 1, 1] + 1 [n - 2, 1], \quad (12)$$

де  $n = 0.1.2.3..$  – номер періоду гратчастої функції. Із (12) видно, що характер перехідного процесу по куту крену квадрокоптера залежить від некомпенсованої сталої. Вище показано що оптимальне значення  $\beta=0,1$ . У результаті розрахунку по (12) отримано такі дискретні значення перехідної характеристики замкненої системи для  $\beta = 0,1$ :

$$H_{3 \text{ опт}}^*(z, 1) = \begin{cases} 0,478; & n = 0; & e = 1 \\ 0,956; & n = 1; & e = 1. \\ 1; & n = 2; & e = 1 \end{cases}$$

Очевидно, що процес в системі закінчується без перерегулювання за три періоди комутації АІН, що живить електродвигун.

**Висновки відповідно до статті.** Для триконтурної системи стабілізації польотом квадрокоптера синтезовано цифровий регулятор головного контуру (кута крену) за критеріями швидкодії без перерегулювання. Встановлено зв'язок його параметрів із параметрами підпорядкованих йому контурів струму та швидкості. Показано, що вплив на параметри регулятора контуру кута крену та на сталу інтегрування компенсуючого регулятора контуру струму впливає некомпенсована стала часу. Запропоновано рекомендації, які дозволяють вибрати її значення.

#### Список використаних джерел

1. Денисов Ю., Шаповалов О., Середа О., Куц Е. Оптимізація енергодинамічних процесів у системі керування приводом стабілізації польоту безпілотного літального апарата. *Технічні науки та технології*. 2018. № 3(13). С. 187-193.
2. Шілов К. Е. Разработка систем автономического управления беспилотным летательным аппаратом мультироторного типа. *Труды МФТИ*. 2014. Т. 6, № 4. С. 139-151.
3. Стабилизация беспилотного летательного аппарата на основе нейросетевого регулятора / С. С. Андронов и др. Санкт-Петербург: Ун-т НИУИТМО, 2016. Т. 16, № 5. С. 796–800.
4. Цыпкин Я. З. Основы теории автоматических систем. Москва: Наука, 1977. 560 с.

#### References

1. Denysov, Yu., Shapovalov, O., Sereda, O., Kuts, E. (2018). Optymizatsiia enerhodynamichnykh protsesiv u systemi keruvannya pryvodom stabilizatsii polotu bezpilотноho litalnoho aparata [Optimization of energy-dynamic processes in a ceruvanny system with a drive of stable stability of a pilotless vehicle]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Science and Technology*, 3 (13), 187-193 [in Ukrainian].
2. Shilov, K. E. (2014). Razarbotka sistem avtonomaticheskogo upravleniia bespilотnym letatelnyym apparatom multirotornogo tipa [Development of autonomous control systems for a multi-rotor unmanned aerial vehicle]. *Trudy MFTI – Moscow Institute of Physics and Technology*, 6 (4), 139-151 [in Russian].

3. Andronov, S.S. et al. (2016). *Stabilizatsiia bespilotnogo letatel'nogo apparata na osnove neurosetevogo regulatora [Stabilization of an unmanned aerial vehicle based on a neural network controller]*. Sankt-Peterburg: Un-t NIUITMO, 16 (5), 796–800 [in Russian].

4. Tsyppin, Ia. Z. (1977). *Osnovy teorii avtomaticheskikh sistem [Fundamentals of the theory of automatic systems]*. Moscow: Nauka [in Russian].

UDC 629.374.7

Yurii Denisov, Oleksiy Gorodny, Oleg Sereda

## SYNTHESIS OF THE SYSTEM ROLL ANGLE CONTROL SYSTEM CONTROL OF A QUADCOPTER WITH A COMPENSATING CURRENT CONTROL CURRENT

**Relevance of the research topic.** The theme of the study is due to the need to improve the quality of energy and dynamics in the flight control systems of unmanned aerial vehicles (UAVs), given their growing role in the industrial, domestic and military sectors.

**Formulation of the problem.** In UAV flight control systems with four rotors (quadcopter), control processes influence the processes of electric power consumption from an onboard battery. The loss of power in the power components of the systems and quadcopter control can be reduced if the influence of ripple anti-emf is eliminated. electric motor on the form of current consumed from the battery. Achieving this goal is possible through the implementation of the most appropriate laws of control in the contours of the system.

**Analysis of research and publications.** An analysis of well-known publications on the research topic showed that they did not pay attention to the issues of economical use of the battery's energy resource. The main focus is on improving management and navigation processes without taking into account their links to energy processes.

**Highlighting unexplored parts of common problems.** An insufficient study of the problem is a consequence of not taking into account the influence of management processes on the quality of energy consumption processes. This is manifested in the fact that the regulator, as a rule a two-circuit, quadcopter control system is tuned for the necessary speed and overshoot without taking into account the influence of the control law on the quality of energy processes, there is no control over the rate of rise of the current shape consumed.

**Formulation of the problem.** Known quadcopter control systems have one control loop. To control the battery consumption, in the quadcopter control system, a current loop is needed, which, together with the speed loop, which obeys the main roll angle loop. Thus, the UAV flight control system must have three control loops [1].

**Main material.** For a three-loop quadcopter flight control system, a digital controller of the main loop has been synthesized, which controls the angle of heel. The synthesis procedure includes taking into account the influence of a proportional-integral controller with second-order astatism, which is included in the current loop to compensate for ripple against the emf. brushless DC motor (BDTT). As a result of the synthesis, the structure and parameters of the links of the roll angle contour controller are obtained in the form of a digital recursive filter.

**Conclusions regarding the article.** Synthesized digital roll angle contour controller for three-loop quadcopter control system. The regulator allows you to stabilize the flight process while saving the energy resource of the on-board battery.

**Keywords:** quadcopter; modified z-transform; optimization; digital filter; energy efficiency.

Fig.: 2. References: 4.

**Денисов Юрій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Denisov Yurii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** den711td@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2293-7964>

**ResearcherID:** G-1144-2016

**Городній Олексій Миколайович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Gorodny Oleksiy** – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** aleksey.gorodny@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

**Web of Science:** H-1425-2016

**Scopus:** ID 55327980200; ID 56338229500; ID 57191829796.

**Серєда Олег Васильович** – аспірант кафедри електроніки, автоматики, робототехніки та мехатроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sereda Oleg** – PhD student of Department of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2270-0385>

**ResearcherID:** G-86012-2017

## РОЗДІЛ IV. ХІМІЧНІ ТА ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 504.5:628.33

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-175-182

*Інна Трус, Микола Гомеля, Тамара Крисенко, Катерина Сенькова*  
**ВИКОРИСТАННЯ СОРБЕНТІВ НА ОСНОВІ МАГНЕТИТУ  
ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ**

*Актуальність теми дослідження.* Проблема засолення води є дуже поширеною через природні та антропогенні фактори, а найбільше страждають промислові регіони. Тому пріоритетним напрямом є розробка маловідходних технологій очищення води від іонів важких металів.

*Постановка проблеми.* Внаслідок різноманітних промислових процесів відбувається надходження важких металів до водних екосистем. Надходження цих поллютантів до поверхневих та підземних вод стало проблемою України протягом останніх кількох десятиліть.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи літературу про основні методи очищення води від іонів важких металів.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Інформація про ефективність сорбційного очищення та доочищення природних вод.

*Постановка завдання.* У роботі представлені результати дослідження процесів сорбційного очищення води від іонів важких металів. Як сорбент використовували зразки магнетиту, отримані при співвідношенні концентрацій іонів заліза (II) і заліза (III) 1:2; 1:1 і 2:1, та зразки модифіковані сульфідом натрію.

*Виклад основного матеріалу.* Показано, що сорбційна ємність магнетиту по іонах важких металів зростає при збільшенні співвідношення  $[Fe^{2+}] / [Fe^{3+}]$  від 1:2 до 2:1. Досліджено вплив рН середовища на ефективність сорбції іонів важких металів на магнетиті. Показано, що сорбційна ємність магнетиту зростає при збільшенні рН середовища, що зумовлено частковим гідролізом іонів важких металів.

*Висновки відповідно до статті.* Сорбційні технології мають високу ефективність і можуть використовуватись на різних етапах очищення води. Підвищення сорбційної ємності магнетиту відбувається при модифікуванні його гуанідином, тіосемікарбазидом і сульфідом натрію, що дозволяє зменшити залишкові концентрації важких металів до  $мкг/дм^3$ .

*Ключові слова:* магнетит; важкі метали; сорбційна ємність; модифікування.

*Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 15.*

*Актуальність теми дослідження.* Внаслідок тривалого зростання антропогенного навантаження відбувається значне забруднення навколишнього середовища. На сьогодні неможливо уявити людське існування без постійного водозабезпечення, а проблема забруднення джерел водопостачання набуває дедалі більшої актуальності, особливо протягом останнього десятиріччя. Деякі регіони нашої планети страждають від катастрофічної нестачі води, крім того, постає інша проблема – низька якість водних ресурсів [1].

*Постановка проблеми.* Вміст органічних речовин, нафтопродуктів та важких металів перевищує встановлені нормативи [2]. Важкі метали надходять до природних джерел зі стоками гальванічних, приладобудівних та хімічних виробництв, гірничозбагачувальних комбінатів та теплоелектростанцій [3]. Багато підприємств мають гальванічні цехи або ж ділянки нанесення гальванічного покриття. Гальванічні виробництва є одними з найбільших споживачів води, і відповідно скидають величезні об'єми відходів – як рідких (гальванічні стоки), так і твердих (гальванічні шлами). При скиданні неочищених або недостатньо очищених гальваностоків у річки, озера та інші поверхневі водойми, які містять значну кількість важких металів у своєму складі, завдається величезна шкода навколишньому середовищу: порушується функціонування активного мулу на станціях очищення міських стічних вод, завдається істотна шкода гідробіонтам, втрачається природна здатність водойм до самоочищення [4].

Висока забрудненість водних об'єктів мінералізованими водами та токсичними речовинами потребує розробки ефективних заходів для зменшення цього впливу [5].

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Аналіз літературних даних щодо методів очищення стічних вод від іонів важких металів показує, що існує багато методів очищення води від іонів важких металів при використанні реагентного осадження [6], зво-

ротного осмосу [7; 8], електрокоагуляції [9], електродіалізу [10], іонного обміну [11; 12] і сорбції [13; 14].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більшість цих методів досить ефективні, проте не вирішують проблеми глибокого очищення води від іонів важких металів. Більш ефективні сорбенти на основі магнетиту, які дозволяють вилучати іони важких металів з води з високим ступенем очищення. Ефективність очищення досить висока і в присутності іонів жорсткості [14].

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є створення високоефективних сорбентів на основі магнетиту для глибокого очищення води від іонів важких металів.

**Експериментальна частина.** При обробці 10 %-м розчином луго сумішей солей заліза (II) і заліза (III) в межах 1:2; 1:1; 2:1 отримували сорбенти з магнітними властивостями [14]. Для модифікування магнетиту використовували гуанідин, тіосемікарбазид в концентрації 1 % та сульфід натрію в концентрації 1 і 2 %. Як робочі розчини використовували розчини іонів міді, цинку, кадмію, нікелю і свинцю з концентрацією від 1–10 мг/дм<sup>3</sup> до 1000 мг/дм<sup>3</sup>. Сорбцію проводили в статичних умовах, до проби розчину об'ємом 100–200 см<sup>3</sup>, додавали 1300 мг/дм<sup>3</sup> магнетиту. У пробах води визначали залишкові концентрації іонів важких металів методом хронопотенціометрії [15] і залишкові значення рН середовища. Сорбційну ємність (а) та ступінь очищення (Z) розраховували за формулами:

$$a = \frac{V_p \cdot (C_n - C_p)}{M_c}, \text{ мг/г};$$

$$Z = \left(1 - \frac{C_p}{C_n}\right) \cdot 100, \%$$

де  $V_p$  – об'єм розчину, дм<sup>3</sup>;

$C_n$  і  $C_p$  – початкова і рівноважна концентрація металу, мг/дм<sup>3</sup>;

$M_c$  – маса сорбенту, г.

#### **Виклад основного матеріалу.**

Для очищення води від іонів міді використовували сорбенти на основі магнетиту. Як видно з рис. 1, сорбційна ємність магнетиту ( $K = 1:1$ ) по міді практично на 10 % більша, ніж при використанні магнетиту, отриманого при  $K = 1:2$ . При вивченні впливу рН на сорбційну ємність було встановлено, що у разі підвищення рН розчину від 5,7 до 6,5 і більше до 7,9 і 8,52 відбувається істотне збільшення ємності сорбенту. Очевидно, що при даних значеннях рН відбувається частковий гідроліз іонів міді з включенням гідроксиду міді в кристалічну ґратку магнетиту [14]. Тому в цьому випадку реалізується механізм активованої адсорбції, яка є незворотною і характеризується великими значеннями сорбційної ємності при незначних значеннях рівноважної концентрації металу. Рівноважна концентрація міді при рН = 7,9 не перевищувала 3,04 мг/дм<sup>3</sup>, а при 8,52 її значення були нижче 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому гранична сорбція досягала значення 1135 мг/г. Очевидно, що кристали магнетиту в цьому випадку були центрами кристалізації гідроксиду, або скоріше оксиду міді, що утворюється внаслідок гідролізу іонів міді.

На рис. 2 наведені дані сорбції іонів свинцю, цинку та кадмію на магнетиті, який було синтезовано при співвідношенні концентрацій заліза (II): заліза (III) ( $\kappa$ ) 1:2. Цей сорбент має досить велику селективність по іонах свинцю, при рН = 6,9 сорбційна ємність магнетиту становила 550 мг/г. Ймовірно при цьому значенні рН він набуває здатності частково гідролізуватися. Цинк і кадмій при таких значеннях рН знаходяться в іонній формі, тому їх вилучення переважно відбувається за рахунок фізичної адсорбції. При цьому гранична ємність по іонах цинку досягла 92 мг/г, а по іонах кадмію – 205 мг/г. Якщо поррахувати в молярному співвідношенні, то ємність по цинку становила 2,82 мг-екв/дм<sup>3</sup>, а по кадмію – 3,66 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Однак рівноважні концентрації цинку й кадмію перевищували 7 мг-екв/дм<sup>3</sup>, що є не дуже хорошим результатом. Та й рівноважна концентрація свинцю в пер-



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

шій пробі була на рівні 0,8 мг/дм<sup>3</sup>. Щодо доочищення чи глибокого очищення води від іонів важких металів, то це є досить високі залишкові концентрації. При підвищенні рН до 8,69 ємність магнетиту по іонах цинку зростає до 550 мг/г, проте рівноважні концентрації були більше ніж 4 мг/дм<sup>3</sup>, що також є незадовільним результатом.

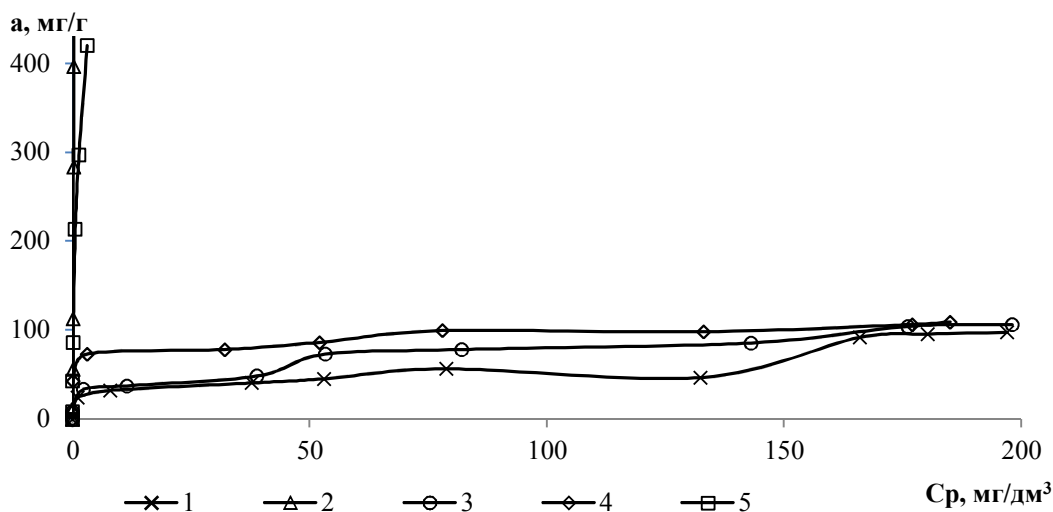


Рис. 1. Ізотерми адсорбції міді на магнетиті ( $K = 1/2$ ) (1;2), ( $K = 1$ ) (3; 4; 5) при рН: 5,7 (1, 3); 6,5 (4); 7,9 (5); 8,52 (2) (доза магнетиту - 1300 мг/дм<sup>3</sup>)

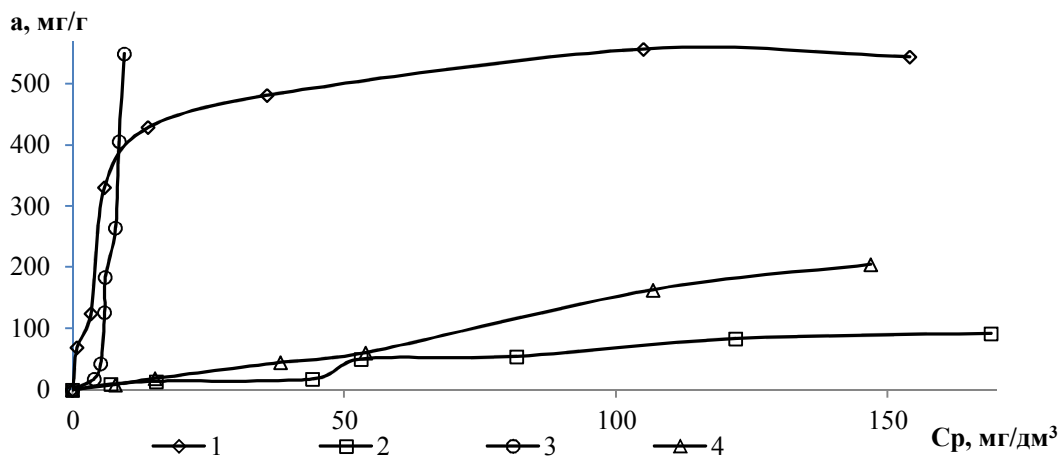


Рис. 2. Ізотерми адсорбції на магнетиті ( $K = 1/2$ ) іонів свинцю (1), цинку (2; 3) і кадмію (4) при рН: 6,9 (1, 2, 4); 8,69 (3) (доза магнетиту - 1300 мг/дм<sup>3</sup>)

Для підвищення ефективності очищення води від іонів важких металів використовували модифікований магнетит.

На рис. 3 представлені результати, отримані при використанні зразків магнетиту, отриманих при  $K = 1:2$  і  $2:1$  і модифікованих тіосемікарбазідом і сульфідом натрію. На прикладі сорбції іонів міді, магнетит, отриманий при співвідношенні  $K = 2$ , має ємність по міді в 4,4 рази вище в порівнянні з магнетитом, отриманому при  $K = 1:2$  (рис. 3). При цьому модифікація магнетиту тіосемікарбазідом призводить до збільшення його сорбційної ємності по міді в 1,5–2,0 рази, а при модифікації магнетиту сульфідом натрію його сорбційна ємність при  $K = 1:2$  зростає з 85 до 332 мг/г, а при  $K = 2$  – з 375 до 550 мг/г. Сорбцію проводили при рН 6,0–6,7. Зростання сорбційної ємності магнетиту при  $K = 2$  в порівнянні з випадком, коли  $K = 1:2$  зумовлено тим, що в першому випадку в отриманому сорбенті значна частина його маси перебуває в аморфному (пухкому) стані, що збільшує площу сорбційної поверхні й адсорбційний об'єм. Магнетит з  $K = 1:2$  складається здебільшого з кристалів. При внесенні в реакційну масу при синтезі

магнетиту гуанідину, тіосемікарбазиду або сульфїду натрію в структуру магнетиту включаються молекули цих сполук або сульфїд аніони. Очевидно, що фрагменти гуанідину, що містять угруповання типу  $>C=N$  або тіосемікарбазид, що містить групи  $>C=S$  здатні утворювати комплексні зв'язки з d-металами і відповідно підвищувати їх сорбцію на магнетиті. Сульфїд аніон здатний з багатьма d-металами утворювати нерозчинні сполуки. Тому він є найбільш ефективним модифікуючим реагентом.

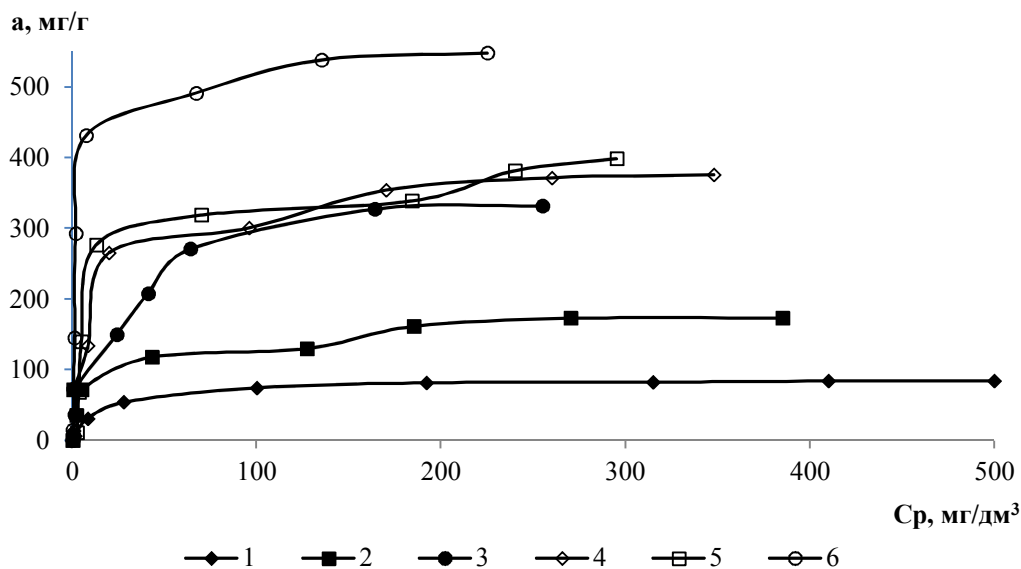


Рис. 3. Ізотерми адсорбції іонів міді на магнетиті  $K = 1/2$  (1; 2; 3) і  $K = 2$  (4; 5; 6) при використанні магнетиту немодифікованого (1; 4) та модифікованого тіосемікарбазидом (2; 5) і сульфїдом натрію (3; 6) (доза магнетиту -  $1300 \text{ mg/dm}^3$ )

Як видно з рис. 4, модифікований сульфїдом натрію магнетит ( $K = 2$ ) має дуже високу сорбційну ємність по іонах нікелю та кадмію. Та й по іонах цинку гранична сорбційна ємність досягає  $300 \text{ mg/g}$ .

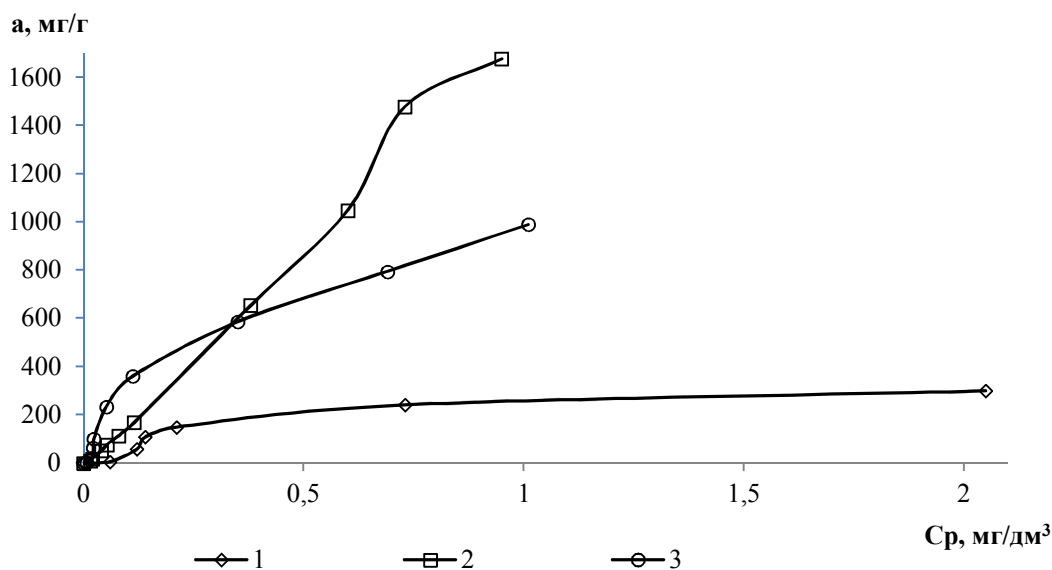


Рис. 4. Ізотерми адсорбції іонів цинку (1), кадмію (2) і нікелю (3) на магнетиті ( $K = 2$ ) модифікованому 2%-ним розчином сульфїду натрію (доза магнетиту -  $1300 \text{ mg/dm}^3$ )

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Більш низька ємність магнетиту по іонах цинку зумовлена тим, що в процесі проведення сорбції рН розчину знижувався від 6,8 до 4,95, тоді як у випадку іонів нікелю рН змінюється в межах 7,15–5,39, а для іонів кадмію рН – в межах 6,70–6,34 (рис. 5).

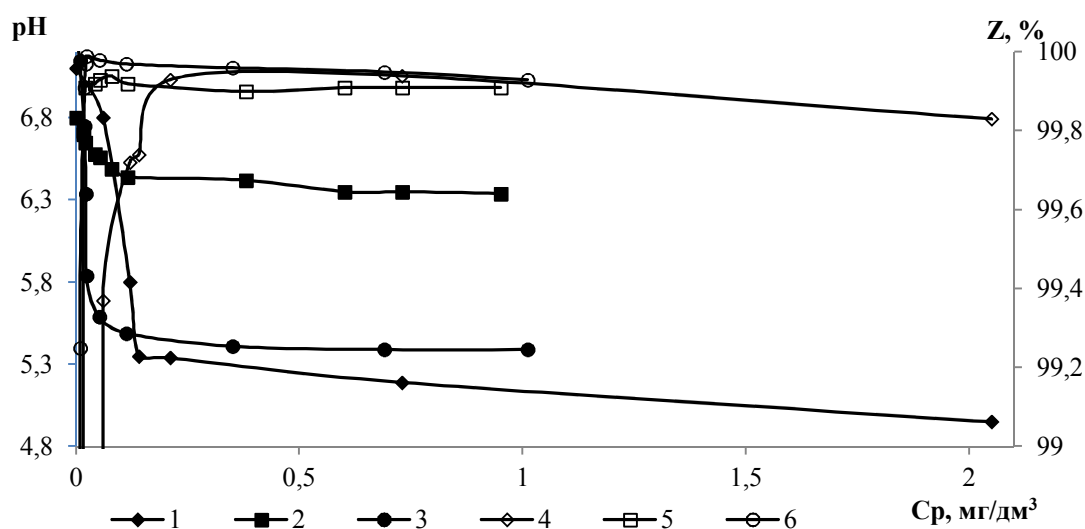


Рис. 5. Залежність рН розчину (1; 2; 3) і ступеня вилучення іонів (4; 5; 6) цинку (1; 4), кадмію (2; 5) і нікелю (3; 6) при сорбції на магнетиті ( $K = 2:1$ ), модифікованому 2%-ним розчином сульфїду натрію (доза магнетиту - 1300 мг/дм<sup>3</sup>)

Слід зазначити, що в усіх випадках ступінь очищення води від іонів важких металів перевищував 99 %. Рівноважні концентрації (рис. 4) в разі іонів цинку також змінювалися від 0,06 до 2,05 мг/дм<sup>3</sup>, для іонів кадмію зростали від 0,016 до 0,950 мг/дм<sup>3</sup>, а для іонів нікелю від 0,008 до 1,010 мг/дм<sup>3</sup>.

З огляду на високі вимоги до якості очищення води від іонів важких металів, особливо при скиданні їх у водойми рибо-господарського призначення або при підготовці питної води, було цікавим визначити мінімальні концентрації, яких можна досягти при використанні сорбентів на основі магнетиту. Як видно з таблиці, при використанні магнетиту, синтезованого при  $K = 1:2$ , модифікованого сульфїдом натрію, концентрацію міді вдалося знизити до 5,44 мкг/дм<sup>3</sup>. При використанні модифікованого сульфїдом натрію магнетиту, отриманого при  $K = 2$ , воду вдалося повністю очистити від іонів кадмію, а концентрацію міді вдалося знизити до 1,2 мкг/дм<sup>3</sup>. Це підтверджує доцільність використання даних сорбентів при доочищенні води від іонів важких металів.

Таблиця

Залежність ефективності вилучення іонів міді (I) і кадмію (II) з водопровідної води від співвідношення  $[Fe^{2+}/Fe^{3+}]$  в магнетиті і способу його модифікації

Fe <sup>2+</sup> /Fe <sup>3+</sup>	Модифікуючий реагент (концентрат)	Концентрація іонів металів, мг/дм <sup>3</sup>				Адсорбція, мг/г		Ступінь вилучення	
		початкова		рівноважна		I	II	I	II
		I	II	I	II				
1:2	–	10,00	10,0	0,75000	0,320	6,300	8,080	92,50	96,80
1:2	Na <sub>2</sub> S (1%)	1,63	–	0,00544	–	1,0292	–	99,67	–
1:2	Na <sub>2</sub> S (2%)	1,63	–	0,04688	–	0,9960	–	97,12	–
1:2	Гуанідін	1,63	–	0,13255	–	0,9462	–	91,87	–
1:1	–	10,00	10,0	0,15000	0,080	7,3875	7,440	98,50	99,20
1:1	Na <sub>2</sub> S (2%)	10,0	10,0	0,05600	0,012	7,4580	7,491	99,44	99,88
2:1	–	2,00	7,5	0,01664	0,0010	1,4875	5,624	99,17	99,99
2:1	Na <sub>2</sub> S (2%)	2,00	7,5	0,0012	0,0000	1,4991	5,625	99,94	100,0

**Висновки відповідно до статті.** Показано, що сорбційна ємність сорбентів на основі магнетиту по іонах важких металів залежить від співвідношення концентрацій іонів

$\text{Fe}^{2+}$  і  $\text{Fe}^{3+}$  (К) в реакційній суміші. У разі збільшення К від  $1/2$  до 2 сорбційна ємність сорбенту збільшується по іонах міді, цинку, нікелю та кадмію.

Встановлено, що сорбційна ємність сорбентів на основі магнетиту по іонах міді, цинку, нікелю та кадмію залежить від рН середовища. Ефективність вилучення важких металів збільшується при підвищенні рН від 6,0 до 8,6.

Вивчено ефективність вилучення іонів важких металів на магнетиті, модифікованому гуанідином, тіосемікарбазидом і сульфідом натрію. Визначено, що найвищий ступінь вилучення важких металів на магнетиті, що модифікований сульфідом натрію.

Встановлено, що при використанні модифікованих сорбентів на основі магнетиту можна зменшити концентрацію важких металів до  $1,2 \text{ мкг/дм}^3$ .

### Список використаних джерел

1. Гомеля М. Д., Трус І. М., Шаблій Т. О. Електродіалізне опріснення розчинів з високим вмістом іонів жорсткості. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2014. № 1 (71). С. 50-55.
2. Tangahu B.V., Sheikh Abdullah S.R., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int J Chem Eng*. 2011. P. 1–31.
3. Duruibe, J., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J. N. Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*. 2007. № 2 (5). P. 112-118.
4. Гомеля М., Іванова В., Трус І. Ефективність вилучення іонів важких металів з розведених розчинів іонообмінним методом. *Технічні науки та технології*. 2017. № 4 (10). С. 154-162.
5. Bolisetty S., Peydayesh M., Mezzenga R. Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chem Soc Rev*. 2019. Vol. 48, №2. P. 463-487.
6. Mirbagheri S. A., Hosseini S. N. Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse. *Desalination*. 2005. № 171. P. 85-93.
7. Mohsen-Nia M., Montazeri P., Modarress H. Removal of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  from wastewater with a chelating agent and reverse osmosis processes. *Desalination*. 2007. № 217, P. 276-281.
8. Zhang L. N., Wu Y. J., Qu X. Y., Li Z. S., Ni J. R. Mechanism of combination membrane and electro-winning process on treatment and remediation of  $\text{Cu}^{2+}$  polluted water body. *J. Environ. Sci*. 2009. №21. P. 764-769.
9. Heidmann I., Calmano W. Removal of Zn (II), Cu (II), Ni (II), Ag (I) and Cr (VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *J. Hazard. Mater*. 2008. № 152. P. 934-941.
10. Cifuentes L., García I., Arriagada P., Casas J.M., The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from  $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}$  solutions. *Sep. Purif. Technol*. 2009. № 68. P. 105-108.
11. Kang S. Y., Lee J. U., Moon S. H., Kim K. W. Competitive adsorption characteristics of  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{3+}$  by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere*. 2004. № 56. P. 141-147.
12. Alyüz B., Veli S. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *J. Hazard. Mater*. 2009. № 167. P. 482-488.
13. Білявський С. А., Сарахман Р. Б., Галиш В. В., Трус І. М. Оптимізація технології одержання сорбентів з відходів рослинного походження. *Екологічні науки*. 2018. № 21. С. 212-217.
14. Ghaedi M., Mosallanejad N. Removal of Heavy Metal Ions from Polluted Waters by Using of Low Cost Adsorbents. *J. Chem. Health Risks*. 2013. Vol. 3, № 1. P. 07-22.
15. Определение тяжелых металлов в водных экосистемах методом инверсионной хронопотенциометрии / Суровцев И. В. и др. *Химия и технология воды*. 2009. Т. 31, № 6. С. 677–687.

### References

1. Homelia, M. D., Trus, I. M., Shablii, T. O. (2014). Elektrodializne oprisnennia rozchyniv z vysokym vmistom ioniv zhorstkosti [Electrodialysis desalination of solutions with a high content of rigidity ions]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series: Technical Sciences*, 1 (71), 50-55 [in Ukrainian].
2. Tangahu B.V., Sheikh Abdullah S.R., Basri H., Idris M., Anuar N., Mukhlisin M. (2011). A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation. *Int J Chem Eng.*, 1–31.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Duruibe, J., Ogwuegbu, M.O.C., Egwurugwu, J. N. (2007). Heavy metal pollution and human biotoxic effects. *International Journal of Physical Sciences*, 2 (5), 112–118.
4. Homelia, M., Ivanova, V., Trus, I. (2017). Efektyvnist vyluchennia ioniv vazhkykh metaliv z rozvedenykh rozchyniv ionoobminnym metodom [Efficiency of extraction of heavy metal ions from dilute solutions by ion-exchange method]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, 4 (10), 154-162 [in Ukrainian].
5. Bolisetty, S, Peydayesh, M., Mezzenga, R. (2019). Sustainable technologies for water purification from heavy metals: review and analysis. *Chem Soc Rev.*, 48 (2), 463-487.
6. Mirbageri, S. A., Hosseini S. N. (2005). Pilot plant investigation on petrochemical wastewater treatment for the removal of copper and chromium with the objective of reuse. *Desalination*, 171, 85-93.
7. Mohsen-Nia, M., Montazeri, P., Modarress, H. (2007). Removal of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$  from wastewater with a chelating agent and reverse osmosis processes. *Desalination*, 217, 276-281.
8. Zhang, L. N., Wu, Y. J., Qu, X. Y., Li, Z. S., Ni, J. R. (2009). Mechanism of combination membrane and electro-winning process on treatment and remediation of  $\text{Cu}^{2+}$  polluted water body. *J. Environ. Sci.*, 21, 764-769.
9. Heidmann, I., Calmano, W. (2008). Removal of Zn (II), Cu (II), Ni (II), Ag (I) and Cr (VI) present in aqueous solutions by aluminium electrocoagulation. *J. Hazard. Mater.*, 152, 934-941.
10. Cifuentes, L., García, I., Arriagada, P., Casas, J. M. (2009). The use of electrodialysis for metal separation and water recovery from  $\text{CuSO}_4\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-Fe}$  solutions. *Sep. Purif. Technol.*, 68, 105-108.
11. Kang, S. Y., Lee, J. U., Moon, S. H., Kim, K. W. (2004). Competitive adsorption characteristics of  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{3+}$  by IRN-77 cation exchange resin in synthesized wastewater. *Chemosphere*, 56, 141-147.
12. Alyüz, B., Veli S. Kinetics and equilibrium studies for the removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. *J. Hazard. Mater.* 2009. № 167. P. 482-488.
13. Biliavskiy, S. A., Sarakhman, R. B., Halysh, V. V., Trus, I. M. (2018). Optymizatsiia tekhnolohii oderzhannia sorbentiv z vidkhodiv rosllynnoho pokhodzhennia [Optimization of technology for sorbents production from vegetable waste]. *Ekolohichni nauky – Environmental sciences*, 21, 212-217 [in Ukrainian].
14. Ghaedi, M., Moadanejad, N. (2013). Removal of Heavy Metal Ions from Polluted Waters by Using of Low Cost Adsorbents. *J. Chem. Health Risks*, 3 (1), 07-22.
15. Surovtcev, I. V. et al. (2009). Opredelenie tiazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh metodom inversionnoi khronopotentsiometrii [Determination of heavy metals in aquatic ecosystems by inversion chronopotentiometry]. *Khimiia i tekhnologiiia vody – Chemistry and water technology*, 31 (6), 677-687 [in Ukrainian].

UDC 504.5:628.33

*Inna Trus, Nikolai Gomelya, Tamara Krysenko, Katerina Senkova*

## APPLICATION OF SORBENTS BASED ON MAGNETITE FOR WATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS

**Urgency of the research.** The problem of salinization of water is very common due to natural and anthropogenic factors, and industrial regions suffer the most. Thus, the priority direction is the development of low-waste technology of water purification from heavy metal ions.

**Target setting.** Heavy metals are introduced into the aquatic systems significantly as a result of various industrial operations. The discharge of these pollutants into surface and groundwater has become a matter of concern in Ukraine over the last few decades.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent publications in open access were taken into consideration, including literature on the main methods of purification of water from heavy metal ions.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Information on the sorption purification and after-treatment effectiveness of natural water.

**The research objective.** In this work, the results of the study of the processes of sorption purification of water from heavy metal ions are presented. Samples of magnetite obtained at a ratio of concentrations of iron ions (II) and iron (III) 1:2; 1:1 and 2:1, and the samples modified with sodium sulfide were used as the sorbents.

**The statement of basic materials.** It was shown that the sorption capacity of magnetite towards heavy metal ions increases with the increasing in ratio of  $[\text{Fe}^{2+}]/[\text{Fe}^{3+}]$  from 1:2 to 2:1. The influence of the pH of the medium on the sorption efficiency of heavy metal ions on magnetite was investigated. It was shown that the sorption capacity of magnetite increases with the increasing of pH of the medium, due to the partial hydrolysis of heavy metal ions.

**Conclusions.** Sorption technologies have high efficiency and can be used at different stages of water treatment. Improvement of the sorption capacity of magnetite occurs when modified it with guanidine, thiosemicarbazide and sodium sulfide, which allows to reduce the residual concentrations of heavy metals ions to  $\mu\text{g}/\text{dm}$ .

**Keywords:** magnetite; heavy metals; sorption capacity; modified.

Fig.: 5. Table: 1. References: 15.

**Трус Інна Миколаївна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).

**Trus Inna** – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).

**E-mail:** inna.trus.m@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

**ResearcherID:** I-3204-2017

**Scopus Author ID:** 56152219600

**h-index:** 2

**Гомеля Микола Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056).

**Gomelya Nikolai** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).

**E-mail:** m.gomelya@kpi.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>

**Author ID:** 6507653734

**h-index:** 3

**Крисенко Тамара Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).

**Krysenko Tamara** – PhD in Technical science, Associate Professor, Associate Professor of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9903-6884>

**Scopus Author ID:** 41761961800

**Сенькова Катерина Сергіївна** – студентка кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, Україна).

**Senkova Katerina** – Student of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., Kyiv, 03056, Ukraine).

Олеся Савченко, Юлія Калініченко

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЖИТНЬО-ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА НА ЗАКВАСКАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ БАЗИЛІКУ

**Актуальність теми дослідження.** Хлібопекарські підприємства активно розвиваються в напрямку застосування прискорених технологій виробництва житньо-пшеничного хліба на заквасках.

**Постановка проблеми.** Поширення ресурсозберігаючих прискорених технологій зумовлюють зниження якості хлібобулочних виробів, приводять до необхідності використання поліпшувачів і консервантів, часто синтетичного походження. Актуальним є пошук способів підвищення якості хлібобулочних виробів шляхом удосконалення технологій виробництва за рахунок використання природної сировини.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукових публікаціях показана перспективність використання добавок природного походження, обґрунтовано доцільність використання їх для підвищення харчової цінності та поліпшення технологічних показників хліба.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Особливої уваги для вирішення зазначеної проблеми прискорення технологічного процесу та підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів слід надати рослинній сировині з високим вмістом біологічно активних речовин. Одним із перспективних напрямів наукових досліджень є додавання пряно-ароматичної сировини, зокрема базилику. Аналіз показав, що нині базилік застосовують більше як пряності, а не поліпшувача технологічного процесу приготування житньо-пшеничного хліба на заквасках спонтанного бродіння.

**Постановка завдання.** Розробка технології виробництва житньо-пшеничного хліба на заквасках спонтанного бродіння з використанням базилику як поліпшувача природного походження.

**Виклад основного матеріалу.** Розроблена рецептура приготування житньо-пшеничного хліба на заквасці спонтанного бродіння з додаванням базилику в кількості від 0,5 до 1,5 % до маси борошна. Дослідженнями встановлено, що базилік покращує структурно-механічні властивості тіста зі слабкою клейковиною. Високий вміст біологічно активних речовин базилику активує бродильну активність молочнокислих бактерій і покращує органолептичні та фізико-хімічні властивості хліба.

**Висновки відповідно до статті.** Показано доцільність використання базилику для скорочення тривалості технологічного процесу приготування житньо-пшеничного хліба. Отримані зразки житньо-пшеничного хліба з додаванням досліджуваної добавки мають приємні органолептичні властивості, пористу м'якушку, привабливий колір із золотистою скоринкою. Добавка збагачує вироби вітамінами, макро- і мікроелементами, не викликає зниження споживчих та технологічних властивостей хліба.

**Ключові слова:** базилік; закваска спонтанного бродіння; вологість; кислотність; тісто; якість хліба.

Рис.: 4. Табл.: 5. Бібл.: 19.

**Актуальність теми дослідження.** Хлібопекарські підприємства активно розвиваються в напрямку застосування прискорених технологій виробництва житньо-пшеничного хліба на заквасках, оскільки традиційна технологія виробництва є досить трудомісткою, багатоступеневою та довготривалою. Сьогодні досить актуальним є забезпечення безпеки та надання високої харчової цінності виробам [1].

**Постановка проблеми.** Поширення ресурсозберігаючих прискорених технологій зумовлюють зниження якості хлібобулочних виробів, призводять до необхідності використання поліпшувачів і консервантів, часто синтетичного походження. Особливої уваги для вирішення зазначеної проблеми прискорення технологічного процесу та підвищення харчової цінності хлібобулочних виробів слід надати рослинній сировині з високим вмістом біологічно активних речовин.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Гнучкий і одночасно стабільний технологічний процес вироблення високоякісних хлібобулочних виробів неможливий без цілеспрямованого застосування мікро-інгредієнтів – харчових добавок, хлібопекарських покращувачів, різних видів сировини. Вони мають широкий спектр функціональних властивостей, мають можливість впливати на компоненти сировини, модифікувати властивості напівфабрикатів, надавати певну якість готових виробів, усувати негативний вплив добавок, що підвищує харчову цінність готових виробів [2].

Оскільки значна частина поліпшувачів є синтетичними добавками, то факт широкого їх використання в хлібопеченні насторожує значну частину споживачів. Багато хлібопекарських поліпшувачів (йодати, персульфати, бромати калію і кальцію, азодикарбонамід, дикрахмалгліцерин) заборонено до використання, однак дозволені препарати

також здатні чинити негативний вплив на організм людини [3; 4]. Альтернативним замінником вважається саме рослинна сировина.

На цей час накопичено досить великий досвід використання рослинної сировини при виробництві хлібобулочних виробів. Введення в рецептуру хлібобулочних виробів рослинних компонентів, з високим вмістом біологічно активних речовин підвищує харчову цінність готової продукції та поліпшує технологічні показники хліба.

Вчені запропонували використання обліпихи та її пектинових екстрактів як біологічно активної добавки при виробництві функціональних, вітамінізованих хлібобулочних виробів [5]. Збагачення рецептур хлібобулочних виробів поліпшувачами на основі лікарських рослин – глоду, шавлії, меліси, кропиви й валеріани збагачує їхній хімічний склад і збільшує енергетичну та харчову цінність хліба. Фізіологічні властивості виробів з екстрактом глоду досліджені на основі взаємодії пектинових речовин з іонами важких металів. Під час експериментів зроблено висновки про покращення в'язкісних характеристик тіста та реологічних властивостей [6].

Підвищення харчової цінності хліба можливе за рахунок внесення соєвого борошна, насіння сочевиці, які мають високий вміст білків, мінеральних речовин та незамінних амінокислот [7; 8].

Екстракт стевії при додаванні до рецептури булочних виробів надає їм високих органолептичних властивостей у порівнянні з контрольними зразками, збільшує їхню харчову цінність та покращує споживчі властивості [9]. Досліджено можливості використання водних та спиртових екстрактів женьшеню, радіоли рожевої, для створення хлібопекарських виробів з адаптогенними властивостями [10].

Технологи розробили технологію хлібопекарських виробів з додаванням БАД на основі бурої водорості *Fucus evanescens*. Унаслідок цього покращуються органолептичні властивості виробів, їх питомий об'єм, формостійкість та пористість [11].

Використання CO<sub>2</sub>-шротів звіробою, материнки, коріандру, чебрецю, ромашки дозволяє уповільнити окиснення, а отже, псування харчових продуктів за рахунок поліфенольних сполук, що входять до складу шротів [12].

Використання ефірних олій анісу та орегано, що мають бактерицидні властивості запобігає розвитку в харчових продуктах плісневих грибів роду *Mucor*, *Rhizopus*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus* і *Penicillium* та утворенню ними мікотоксинів [13-15]. Експерименти проведені з використанням екстрактів кардамону, бетелю, куркуми, кориці, кречаю тощо, показали їх ефективність у пригніченні розвитку плісневих грибів роду *Aspergillus* і *Penicillium* [16].

Одним із найпоширеніших видів є пряно-ароматична сировина. У хлібопеченні відомо використання таких видів добавок, як душиця, тим'ян, кмин, льон, аніс, кардамон тощо. Базилик – це однорічна рослина, що застосовується в кулінарії як прянощі. Базилик широко застосовується в кулінарії, його використовують в соусах, кетчупах, підливах, різних заправках. Сухе листя базилика покращують смакові якості ковбасних виробів та паштетів. Він служить приправою для салатів, омлетів, страв з морепродуктів. Базилик у кулінарії додають при копченні, консервації, приготуванні масел для бутербродів [17–19].

Використання його у хлібопеченні є перспективним з погляду покращення споживчих властивостей і конкурентоспроможності продукції, проте впровадженню заважає багато факторів: недостатньо вивчені хімічний склад та вміст діючих речовин, формування необхідних функціонально-технологічних властивостей, відсутність параметрів використання та дозувань. Вирішення цих проблем стане підґрунтям до розробки заходів комплексного покращення якості хлібопекарських виробів із використанням базилику.

**Мета роботи.** Розробка технології виробництва житньо-пшеничного хліба на житніх заквасках спонтанного бродіння з використанням базилику для підвищення якості виробів та розширення їх асортименту.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відомо, що структурно-механічні властивості тіста залежать від властивостей його основних компонентів. Технологічні властивості борошна як основного компоненту, у свою чергу, визначаються станом її білково-протеїназного й вуглеводно-амілазного комплексів. Досліджено, що введення в тісто екстракту базиліку зменшує вихід сирої клейковини, розтяжність, але сприяє її зміцненню. Причому зі збільшенням кількості добавки ступінь зміцнення клейковини зростає. Зміцнення структури клейковини і тіста відбувається внаслідок утворення білково-полісахаридних комплексів між білками борошна й компонентами екстракту базиліку. Мінеральні речовини разом з органічними кислотами, речовинами клітинних стінок укріплюють клейковину. Можливо, що і фенольні речовини надають зміцнюючої дії на клейковинний комплекс борошна. Характерною особливістю фенольних сполук є взаємодія їх з білками.

Технологія приготування житнього і житньо-пшеничного хліба передбачає приготування тіста на заквасках. Мікрофлора житніх заквасок представлена мезофільними гомо- і гетероферментативними молочнокислими бактеріями і кислотостійкими дріжджами. Певні технологічні особливості застосування традиційних заквасок не дозволяють використовувати їх в умовах підприємств малої потужності. Вирішенням цієї проблеми може стати використання дискретної технології приготування житнього тіста на біологічній заквасці спонтанного бродіння. У цьому випадку раціонально вибрати рідку біологічну закваску, оскільки в ній міститься більше кислотоутворюючих бактерій і вища кислотність в порівнянні з рідкими заквасками.

Готували рідку закваску вологістю 71 % з борошна і води, залишали її заквашуватись при температурі 30-32 °С. Після цього закваску поновлювали шляхом відбору половини її маси і додавання такої ж кількості свіжеприготованої для живлення суміші з борошна і води, і знову заквашували. Для накопичення мікрофлори, оптимальної для отримання хліба високої якості, проводили багаторазове оновлення закваски для того, щоб у ній встановилася активна мікрофлора. При проведенні органолептичної оцінки було встановлено, що закваска вологістю 71 % до кислотності 8,0-9,0 град, мала притаманний цьому напівфабрикату запах.

Дані експериментів показують, що підвищення вмісту базиліку в заквасці приводить до поліпшення показника підйомної сили в порівнянні з контролем. Це відбувається за рахунок активації мікрофлори закваски. Зокрема, при внесенні 1,5 % базиліку (рис. 1) підйомна сила збільшується на 34,5 %.



Рис. 1. Порівняльна характеристика біотехнологічних властивостей заквасок: зразок № 1 – закваска + 0,5 % базиліку, зразок № 2 – закваска + 1,5 % базиліку

Екстракт базилику містить велику кількість вітамінів, мікро- та макроелементів, які сприяють інтенсифікації молочнокислого бродіння, що здійснюється гетероферментативними молочно-кислими бактеріями. Час спливання кульки майже вдвічі менший за час спливання кульки-контролю.

Одним із найтриваліших етапів технологічного процесу приготування хліба є процес бродіння тіста. Тому на підприємствах малої потужності гостро стоїть питання скорочення часу бродіння тіста.

Запропоновано додати базилік в якості поліпшувача в тісто. При замішуванні тіста замість частини борошна було внесено базилік у кількості 0,5 та 1,5 %. Паралельно проведено замішування тіста за тією ж самою рецептурою, без додавання добавки (контрольний зразок).

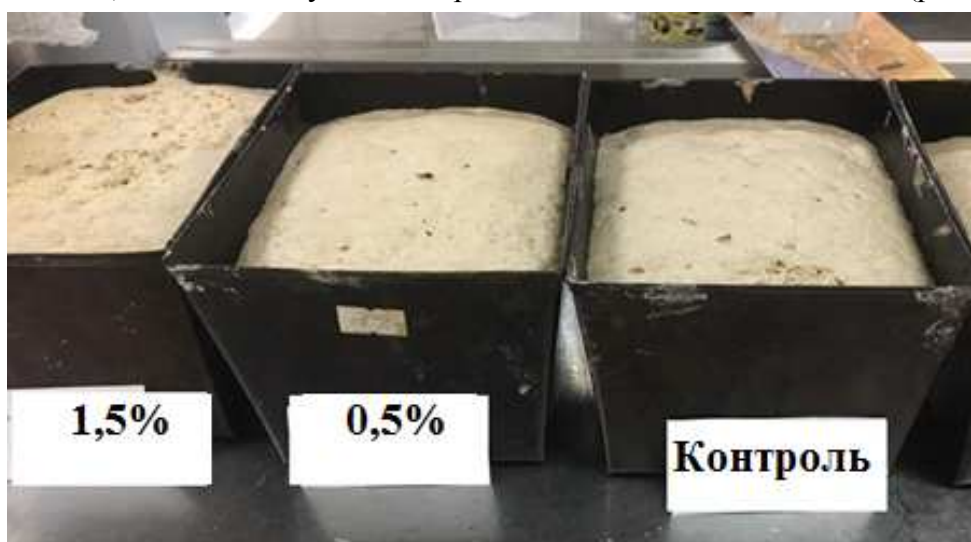
Розроблена рецептура приготування житньо-пшеничного хліба на заквасці спонтанного бродіння з додаванням базилику (табл. 1).

Таблиця 1

*Рецептура житньо-пшеничного хліба на заквасці спонтанного бродіння*

Сировина	Контрольний зразок	Зразки хліба з додаванням базилику до маси борошна	
		0,5 %	1,5 %
Борошно пшеничне Іс, г	260	259	257
Борошно житнє обдирне, г	260	260	260
Сіль, г	7	7	7
Цукор, г	10	10	10
Закваска, г	200	200	200
Базилік, г	-	1,0	3,0

Тісто готували двофазним способом. Усі три зразки тіста готували одночасно в однакових умовах. Оцінювали якість тіста за його фізико-хімічними властивостями – вологістю, кислотністю, зміною об'єму тіста та органолептичними властивостями (рис. 2).



*Рис. 2. Зразки тіста з різною концентрацією базилику*

Вологість тіста при додаванні базилику збільшується незначно. Вологість тіста за ДСТУ не більше ніж 48 %. Отже, внесення закваски погано впливає на вологість тіста. Кислотність тіста залежно від концентрації добавки збільшується. Кінцева кислотність тіста становить за нормами 8-9 град. Найбільша вологість та кислотність тіста спостерігається у зразку з добавкою базилика в кількості 1,5 % до маси борошна.

Результати досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

*Фізико-хімічні показники досліджуваних зразків*

Назва показника	Значення показників якості досліджуваного тіста		
	Контроль	0,5 % базилику	1,5 % базилику
Вологість, %	47,0	48,2	48,5
Початкова кислотність, град	7,2	7,6	7,8
Кінцева кислотність, град	8,2	8,5	8,8

Питомий об'єм тіста зі збільшенням концентрації поліпшувача зростає. Найбільш активно підіймається тісто зразка, що містить 3 г базилику. Тісто утримує свій об'єм протягом вистоявання до посадки в піч. Динаміку зміни питомого об'єму тіста наведено в табл. 3.

Таблиця 3

*Динаміка зміни питомого об'єму тіста від концентрації добавки*

Час, хв	Питомий об'єм тіста, см <sup>3</sup> /г		
	Контроль	0,5 % базилику	1,5 % базилику
0	0,86	0,92	0,98
30	0,88	0,96	1,1
60	0,96	1,04	1,2
90	1,08	1,2	1,36
120	1,28	1,3	1,52
150	1,34	1,42	1,68

Якість хліба оцінювали шляхом проведення пробних лабораторних випічок тіста, що приготовані з житнього та пшеничного борошна на житній заквасці спонтанного бродіння з додаванням свіжого зеленого базилику в різному відсотковому співвідношенні та контролю без добавки. За органолептичними показниками визначали форму хліба, колір і зовнішній вигляд скоринки, смак і запах (рис. 3). Оцінювали якість хлібної продукції за її фізико-хімічними властивостями – вологістю, кислотністю, пористістю.

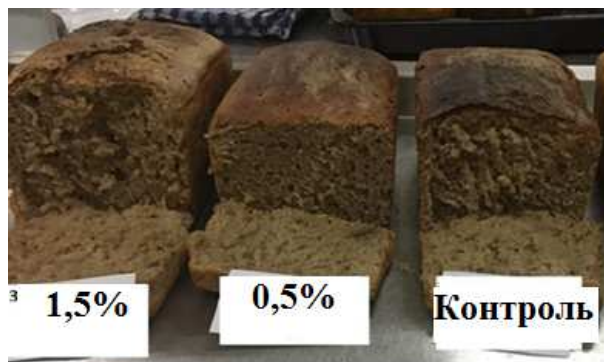


Рис. 3. Зовнішній вигляд проведеної пробної випічки

Результати досліджень випечених зразків за органолептичними показниками наведені в табл. 4.

Таблиця 4

*Органолептичні властивості готових виробів*

Показник	Контроль	0,5 % базилику	1,5 % базилику
1	2	3	4
Зовнішній вигляд	Відповідній хлібній формі, в якій проводилось випікання. Деяко опукла верхня скоринка	Відповідній хлібній формі, в якій проводилось випікання. Деяко опукла верхня скоринка	Відповідній хлібній формі, в якій проводилось випікання. Деяко опукла верхня скоринка
Колір і стан поверхні	Темно-коричнева, без підгорілості. Відповідає виду виробу, без забруднення, без підривів і тріщин.	Темно-коричнева, без підгорілості. Відповідає виду виробу, без забруднення, наявні невеликі підривів і тріщин.	Темно-коричнева, без підгорілості. Відповідає виду виробу, без забруднення, наявні підривів і тріщин.

1	2	3	4
Колір і стан м'якушки	Пропечена, не липка на дотик, еластична. Після легкого натискання пальцями м'якушки повинен приймати початкову форму без грудочок і слідів непромісу, без пустот і ущільнень.	Пропечена, не липка на дотик, еластична. Після легкого натискання пальцями м'якушки повинен приймати початкову форму без грудочок і слідів непромісу, без пустот і ущільнень.	Пропечена, не липка на дотик, еластична. Після легкого натискання пальцями м'якушки повинен приймати початкову форму без грудочок і слідів непромісу, без пустот і ущільнень. М'якушка має гару пористість.
Смак	Виразений, характерний, хлібний.	Хлібний, з дещо вираженим присмаком базилику.	Хлібний, з ярко вираженим присмаком базилику.
Запах	Властивий даному виду виробу, без стороннього аромату.	Пряний аромат, запах базилику.	Пряний аромат, запах базилику.

Отримані зразки житньо-пшеничного хліба з додаванням базилику характеризуються більш вираженим смаком та ароматом, мають кращу структуру пористості та фізико-хімічні властивості м'якушки.

Вологість випеченого хліба збільшується зі збільшенням концентрації добавки. Найбільша вологість у зразку, що містить 1,5 % базилику. Ймовірно відбувається посилення вологоутримуючої здатності білків, яке також пов'язане з вмістом у рослинній сировині електролітів, які збільшують гідратацію білкових молекул і осмотичний тиск у системі, що підвищує міцність капілярної вологи. Збільшення кількості води у виробі знижує їх калорійність пропорційно підвищенню вологості.

Проте кислотність досліджуваних зразків збільшується незначною мірою при додаванні поліпшувача.

Пористість випечених зразків зі збільшення додавання базилику збільшується. Пористість досліджуваних зразків знаходиться в межах норми. Значення вологості, кислотності та пористості всіх зразків занесені в табл. 5 та відображено на рис. 4.

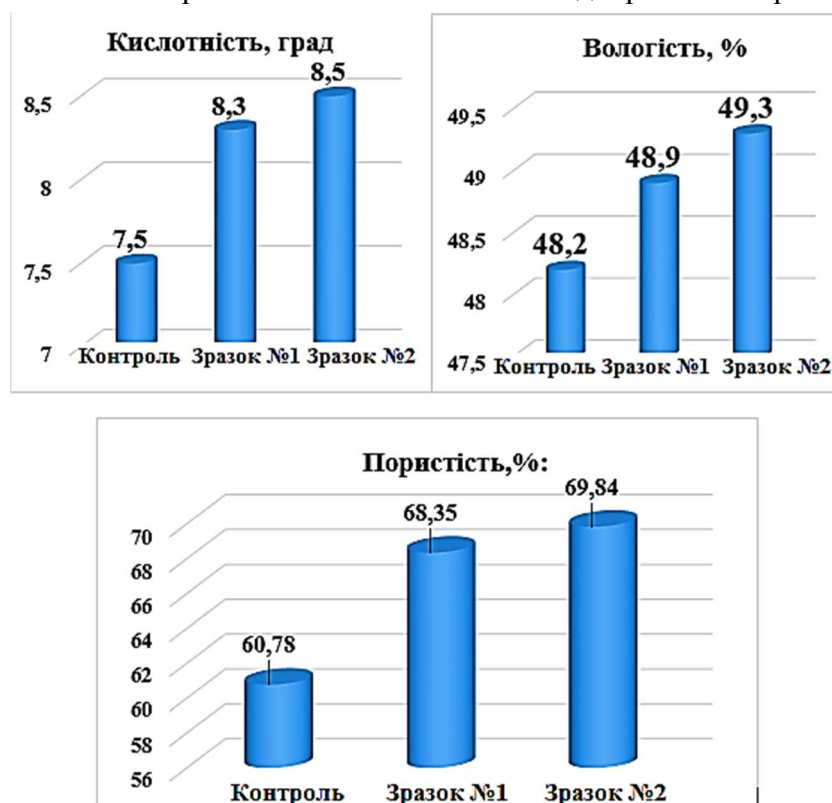


Рис. 4. Графіки вологості, кислотності та пористості готових виробів: контроль – без добавки; зразок № 1 – 0,5 % базилику; зразок № 2 – 1,5 % базилику

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Наведені результати показують значну перевагу за дослідженими показниками харчової цінності житньо-пшеничного хліба з добавкою базилику порівняно з контрольним зразком. Введення в тісто екстракту базилику сприяє збільшенню виходу виробів, вологості м'якушки, пористості, кислотності й формоутримуючої здатності, зниженню упікання й усихання виробів.

Таблиця 5

*Фізико-хімічні показники готових виробів*

Показники якості	Зразки хліба		
	Контроль	0,5 % базилику	1,5 % базилику
Вологість м'якушки, %	48,2	48,9	49,25
Кислотність м'якушки, град	7,5	8,3	8,5
Пористість м'якушки, %	60,78	68,35	69,84

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено вплив базилику на бродильну активність закваски та житньо-пшеничного тіста, обумовлений впливом його хімічного складу на мікробіоту. Високий вміст вітамінів, мікро- та макроелементів дозволяє розглядати базилик як перспективний збагачувач середовища для розвитку мікрофлори та стабілізації біотехнологічних властивостей заквасок спонтанного бродіння.

Впровадження технології житнього хліба на заквасках спонтанного бродіння з додаванням базилику дасть змогу розширити асортимент житнього хліба та виготовляти його на підприємствах малої потужності й пекарнях. Це збільшить сегмент житнього хліба в загальному асортименті хлібобулочних виробів. Включення його в раціон харчування сприятиме поліпшенню структури харчування, здоров'я і підвищенню імунної опірності організму.

**Список використаних джерел**

1. Юргачова К. Г., Лебеденко Т. Є. Хлібобулочні вироби оздоровчого призначення з використанням фітодобавок. Київ: Прес, 2015. 464 с.
2. Дробот В. І. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ: Логос, 2002. 365 с.
3. Дугина Е. Л., Протасова И. П., Доржиева Е. В. Усиление конкурентных преимуществ предприятий хлебопекарной промышленности. *Известия ИЕЭА*. 2012. № 3. С. 52–59.
4. Матвеева, И. В., Белявская И. Г. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в производстве мучных изделий. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва, 2000. 118 с.
5. Желток К. В. Использование облепихи и шиповника в качестве витаминизированной добавки в производстве хлебобулочных изделий. *Успехов современного естествознания*. 2011. № 7. С. 111.
6. Корячкина, С. Я. Дикорастущие ягоды – улучшители качества мучных изделий. *Новое в технике и технологии пищевых отраслей*. Кемерово, 1995. С. 79.
7. Sanful R. E., Darko S. Utilization of Soybean Flour in the Production of Bread. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2010. Vol. 9(8). P. 815–818.
8. Влияние растительных БАД на качество и пищевую ценность хлебобулочных изделий / З. Т. Тазова и др. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2007. № 1. С. 98.
9. Разработка хлебобулочных изделий с применением стевии / Чижикова О. Г. и др. *Вестник ТГЭУ*. 2009. № 4. С. 79-88.
10. Сорокопуд А. Ф., Иванов П. П. Исследование физико-химических свойств водных и водно-спиртовых экстрактов ирги и шиповника. *Химия растительного сырья*. 2002. № 2. С. 111-116.
11. Смертина Е. С., Каленик Т. К., Федянина Л. Н. Новые хлебобулочные изделия функционального назначения. *Вестник ТЕЭУ*. 2009. № 3. С. 53-59.
12. Красина, И. Б., Безуглая И. Н., Нерсесьян В. В., Жестовская И. В. Обогащение мучных кондитерских изделий фитодобавками. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*. 2006. № 2-3. С. 61-62.
13. Rusul G., Marth E. H. Food additives and plant components control growth and aflatoxin production by toxigenic aspergilli: A review. *Mycopathologia*. 1988. Vol. 101. P. 13-23.
14. Bluma R., Amaiden M. R., Daghero J., Etcheverry M. Control of *Aspergillus* section *Flavi* growth and aflatoxin accumulation by plant essential oils. *Journal of Applied Microbiology*. 2008. Vol. 105. P. 203-214.

15. Shaaban, H. A. E., El-Ghorab A. H., Shibamoto T. Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components: Review. *Journal of Essential Oil Research*. 2012. Vol. 24 (2). P. 203-212.
16. Wanchaitanawong, P., Chaungwanit P., Poovarodom N., Nitisinprasert S. *In vitro* Antifungal Activity of Thai Herb and Spice Extracts against Food Spoilage Fungi. *Kasetsart Journal – Natural Science*. 2005. Vol. 39. P. 400-405.
17. Чопик В. И., Дудченко Л. Г., Краснова А. Н. Дикорастущие полезные растения Украины: справочник. Киев: Наукова думка, 1983. 399 с.
18. Корячкина С. Я Дикорастущие ягоды – улучшители качества мучных изделий. *Новое в технике и технологии пищевых отраслей*. Кемерово, 1995. С. 79.
19. Волкова Е. В. Род 1308. Базилик – *Ocimum L.* *Флора СССР*: в 30 т. Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР, 1954. Т. XXI. 703 с.

### References

1. Iorgachova, K. G., Lebedenko T. E. (2015). *Hlibobulochni virobi ozdorovchogo priznachennia z vikoristanniam fitodobavok [Bakery products of health destination with the use of herbal supplements]*. Kyiv: Pres [in Ukrainian].
2. Drobot, B. I. (2002). *Tehnologija khlibopekarskoho virobnitstva [Bakery production technology]*. Kyiv: Logos [in Ukrainian].
3. Dugina, E. L., Protasova, I. P., Dorzhieva E. V. (2012). Usilenie konkurentnykh preimuschestv predpriatii hlebopekarnoy promyshlennosti [Strengthening the competitive advantages of the baking industry]. *Izvestiia IEEA – IEEA News*, 3, 52–59 [in Russian].
4. Matveeva, I. V., Belyavskaya I. G. (2000). *Pischevye dobavki i khlebopekarnye uluchshiteli v proizvodstve muchnykh izdelii [Food additives and baking improvers in the production of flour products] (2<sup>nd</sup>)*. Moscow [in Russian].
5. Zheltok, K. V. (2011). Ispolzovanie oblepihi i shipovnika v kachestve vitaminizirovannoy dobavki v proizvodstve hlebobulochnykh izdeliy [The use of sea buckthorn and rose hips as a fortified supplement in the production of bakery products]. *Uspehov sovremennogo estestvoznaniia – Successes of modern science*, 7, 111 [in Russian].
6. Koriachkina, S. Ya. (1995). Dikorastushchie iagody – uluchshiteli kachestva muchnykh izdelii [Wild berries – flour improvers]. *Novoe v tehnike i tehnologii pische-vyih otraslei – New in food technology*, 79 [in Russian].
7. Sanful, R. E., Darko S. (2010). Utilization of Soybean Flour in the Production of Bread. *Pakistan Journal of Nutrition*, 9(8), 815-818.
8. Tazova, Z. T. et al. (2007). Vliianie rastitelnykh BAD na kachestvo i pischevuiu tsennost khlebobulochnykh izdelii [The effect of plant-based dietary supplements on the quality and nutritional value of bakery products]. *Izvestiya VUZov. Pischevaia tehnologija – University News. Food technology*, 1, 98 [in Russian].
9. Chizhikova, O. G. et al. (2009). Razrabotka hlebobulochnykh izdeliy s primeneniem stevii [Development of bakery products using stevia]. *Vestnik TGEU – Vestnik TSEU*, 4, 79-88 [in Russian].
10. Sorokopud, A. F., Ivanov, P. P. (2002). Issledovanie fiziko-himicheskikh svoystv vodnykh i vodno-spirtovykh ekstraktov irgi i shipovnika [Investigation of the physicochemical properties of aqueous and aqueous-alcoholic extracts of berry and rosehip]. *Khimiia rastitelnogo syria – Chemistry of plant raw materials*, 2, 111-116 [in Russian].
11. Smertina, E. S., Kalenik T. K., Fedyanina L. N. (2009). Novyie khlebobulochnye izdeliia funktsionalnogo naznacheniia [New bakery products for functional use]. *Vestnik TEEU – Bulletin TEEU*, 3, 53-59 [in Russian].
12. Krasina, I. B., Bezuglaia, I. N., Nersesyan, V. V., Zhestovskaia I. V. (2006). Obogaschenie muchnykh konditerskikh izdeliy fitodo-bavkami [Enrichment of flour confectionery products with herbal supplements]. *Izvestiia VUZov. Pischevaia tehnologija – University News. Food technology*, 2-3, 61-62 [in Russian].
13. Rusul, G., Marth E. H. (1988). Food additives and plant components control growth and aflatoxin production by toxigenic aspergilli: A review. *Mycopathologia*, 101, 13-23.
14. Bluma, R., Amaiden, M. R., Daghero, J., Etcheverry, M. (2008). Control of Aspergillus section Flavi growth and aflatoxin ac-cumulation by plant essential oils. *Journal of Applied Microbiology*, 105, 203-214.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

15. Shaaban, H. A. E., El-Ghorab, A. H., Shibamoto T. (2012). Bioactivity of essential oils and their volatile aroma components: Review. *Journal of Essential Oil Research*, 24 (2), 203-212.

16. Wanchaitanawong, P., Chaungwanit, P., Poovarodom, N., Nitisinprasert, S. (2005). In vitro Antifungal Activity of Thai Herb and Spice Extracts against Food Spoilage Fungi. *Kasetsart Journal – Natural Science*, 39, 400-405.

17. Chopik V. I., Dudchenko L. G., Krasnova A. N. (1983). Dikorastuschie poleznye rasteniia Ukrainy: spravochnik [Wild useful plants of Ukraine: a directory]. Kiev: Naukova dumka [in Russian].

18. Koriachkina, S. Ya. (1995). Dikorastuschie iagody – uluchshiteli kachestva muchnykh izdelii [Wild berries are flour improvers]. *Novoe v tehnikе i tehnologii pischevykh otraslei – New in food technology*, 79 [in Russian].

19. Volkova, E. V. (1954). Rod 1308. Bazilik - Ocimum L. [Basil – Ocimum L.]. *Flora SSSR – Flora of the USSR* (Vols. 30. Vol. XXI). Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR [in Russian].

UDC 664.64.022.39

*Olesya Savchenko, Yulia Kalinichenko*

## TECHNOLOGY OF MANUFACTURING RYE AND WHEAT SOURDOUGH BREAD WITH THE USE OF BASIL

**Urgency of the research.** Bakery enterprises are actively developing towards the application of accelerated technologies for the production of rye and wheat sourdough bread.

**Target setting.** The spread of resource-saving accelerated technologies has led to a decline in the quality of bakery products, leading to the need for the use of enhancers and preservatives, often of synthetic origin. It is important to find ways to improve the quality of bakery products by improving production technologies through the use of natural raw materials.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Scientific publications have shown the prospects of using natural supplements, substantiated the expediency of using them to increase nutritional value and improve technological performance of bread.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Particular attention should be given to planting raw materials with a high content of biologically active substances to address this problem of accelerating the technological process and increasing the nutritional value of bakery products. One of the promising areas of research is the addition of spicy-aromatic raw materials, including basil. The analysis showed that at present basil is used more as a spice rather than an enhancer of the technological process of making rye and wheat sourdough bread on the leaven of spontaneous fermentation.

**The research objective.** Development of technology for the production of rye and wheat bread on the leaven of spontaneous fermentation using basil as an enhancer of natural origin.

**The statement of basic materials.** The recipe for the preparation of rye and wheat bread on the leaven of spontaneous fermentation with the addition of basil in the amount of 0.5% to 1.5% by weight of flour was developed. Studies have shown that basil improves the structural and mechanical properties of the dough with low gluten. The high content of biologically active substances in the basil activates the fermentation activity of lactic acid bacteria and improves the organoleptic and physico-chemical properties of the bread.

**Conclusions.** The expediency of using basil for reducing the duration of the technological process of making rye and wheat bread is shown. The obtained samples of rye and wheat bread with the addition of the test additive have good organoleptic properties, porous crumb, attractive color with a golden crust. The additive enriches the products with vitamins, macro and microelements, does not cause a decrease in the consumer and technological properties of bread.

**Keywords:** basil; leaven of spontaneous fermentation; humidity; acidity; dough; bread quality.

Fig.: 4. Table: 5. References: 19.

**Савченко Олеся Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Savchenko Olesya** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technologies Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** savchenkolm68@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0385-7232>

**ResearcherID:** H-1217-2016

**Scopus Author ID:** 7006763332

**Калініченко Юлія Дмитрівна** – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Kalinichenko Yuliia** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** juliakalina96@gmail.com

УДК 664.853:634.21:615.281.9

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-192-208

Антоніна Дубініна, Тетяна Летута, Віра Новікова

**ЗБЕРІГАННЯ ПЛОДІВ АБРИКОСА З ВИКОРИСТАННЯМ  
ЛІКАРСЬКО-РОСЛИННИХ ЕКСТРАКТІВ**

**Актуальність теми дослідження.** Абрикос характеризується високою інтенсивністю дихання та метаболізму, й найбільшою чутливістю до етилену серед усіх кісточкових плодів – це зумовлює надзвичайно короткий термін зберігання плоду. Раніше недостатньо уваги приділяли подовженню терміну зберігання абрикоса як окремого плоду, тому найчастіше для його зберігання використовували відомі технології: швидке заморожування, регульовану атмосферу та зберігання у спеціальній тарі.

**Постановка проблеми.** Однак такі технології не передбачають запобігання утворенню або розповсюдженню основних грибкових інфекцій абрикоса.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Багаторазове застосування деяких системних фунгіцидів у аграрних господарствах призвело до появи фунгіцид-стійких патогенів. Деякі фунгіциди, особливо фталімідні, спричиняють хімічні травми епідермісу абрикосів. Оскільки використання фунгіцидів під час заготівлі абрикосів є необхідним, але потенційно шкідливим, у країнах Європи вже давно були ініційовані дослідження з розробки природних, ефективних і нетоксичних для плодів абрикоса й споживача фунгіцидних засобів. Уже багато років пріоритетними технологіями зберігання плодів абрикоса є швидке заморожування, регульована атмосфера, зберігання у спеціальній тарі. Однак сучасні технології зберігання не передбачають знищення або пригнічення грибкових інфекцій плодів.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз літературних джерел щодо існуючих технологій зберігання абрикоса та використання лікарсько-технічної сировини як компонента, що пригнічує основні грибкові інфекції, для подовження зберігання фрукта у свіжому вигляді.

**Виклад основного матеріалу.** Для подовження терміну зберігання нами запропоновано використовувати захисний засіб з антибактеріальними властивостями проти основних грибкових інфекцій абрикоса – грибків роду *Monilinia* (*Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola*) та *Rhizopus stolonifer*. Оскільки важливою характеристикою безпечності речовин, що контактують безпосередньо з продуктами харчування, є мінімальна токсичність і високі антибактерицидні властивості, для застосування в розробці нової технології рекомендовані водні та водно-спиртові екстракти рослинної сировини – листя меліси та шавлії, трава вербени.

**Висновки відповідно до статті.** На основі аналізу сучасної вітчизняної та зарубіжної літератури робимо висновок, що засіб із використанням таких екстрактів може стати новим ефективним антибактерицидним препаратом для зберігання плодів абрикоса у свіжому вигляді.

**Ключові слова:** абрикос; бактерії; грибки; зберігання; специфічна мікрофлора; фунгіцидна дія; антибактеріальні властивості.

Табл.: 1. Бібл.: 82.

**Актуальність теми дослідження.** Плоди абрикоса дуже цінуються як харчова сировина завдяки своєму хімічному складу (цукроза, яблучна, лимонна та винна кислоти, дубильні речовини, пектин, крохмаль, мінеральні солі, вітаміни С та Р, каротин). Абрикос широко розповсюджений в усьому світі: Азії, Європі, Америці. Під час дозрівання абрикоси пом'якшуються та набирають високого вмісту цукру (до 30 %), що робить ці плоди схильними до враження мікроорганічними патогенами, здебільшого грибковими інфекціями. Для уникнення великих втрат урожаю через гниття одразу після збирання, первинного контролю та сортування фрукти відправляються на харчові підприємства, які переробляють свіжі абрикоси в консервну та іншу продукцію. Однак непридатність партії до подальшого використання може виявитися ще на етапі первинного огляду. Крім того, багато одиниць урожаю транспортується до роздрібних торговельних точок із метою продажу у свіжому вигляді. Таким чином, розробка й впровадження нових засобів збільшення терміну зберігання плодів абрикоса є актуальним.

**Постановка проблеми.** Серед усіх кісточкових плодів абрикос характеризується найвищим ступенем дихання та метаболізму. Ці особливості зумовлюють надзвичайно короткий термін зберігання плоду. Сучасні технології зберігання є дорогими або не передбачають запобігання утворенню основних грибкових інфекцій абрикоса.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Багаторазове застосування деяких системних фунгіцидів у аграрних господарствах призвело до появи фунгіцид-стійких патогенів. Деякі фунгіциди, особливо фталімідні, спричиняють хімічні травми епідермісу абрикосів [1; 2]. Оскільки використання фунгіцидів під час заготівлі абрикосів є необхідним, але потенційно шкідливим, у країнах Європи вже давно були ініційовані до-

© Дубініна А. А., Летута Т. М., Новікова В. В., 2019



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

слідження з розробки природних, ефективних і нетоксичних для плодів абрикоса та споживача фунгіцидних засобів [3].

Протягом багатьох років пріоритетними технологіями зберігання плодів абрикоса є:

- 1) швидке заморожування;
- 2) регульована атмосфера;
- 3) зберігання у спеціальній тарі.

Абрикос характеризується високою інтенсивністю дихання та метаболізму й найбільшою чутливістю до етилену серед усіх кісточкових фруктів. Ці особливості зумовлюють надзвичайно короткий термін зберігання плоду, що становить лише 1–2 тижні при 0 °С та відносній вологості близько 90 %, упродовж якого він швидко переходить від зрілості до перезрівання та пом'якшується. З цієї причини для отримання плодів належної якості та запобігання втратам після збору врожаю потрібно дотримуватися всіх необхідних вимог щодо методів зберігання абрикосів [4].

Після зміни кольору абрикосів на деревах із зеленого на жовтий настає етап заготівлі плодів. Абрикоси завжди збирають вручну (у збиральні сумки або пластикові бокси). Інколи плоди підбирають із землі, якщо на них немає візуальних ознак розпаду. На цьому етапі багато фруктів роздавлюється та інфікується патогенами, що мешкають у ґрунті й на деревах [5].

Абрикоси сортуються вручну та зберігаються в спеціальних глибоких пластикових або дерев'яних ящиках, де вони розташовуються в один або два шари заввишки для уникнення продавлення та розм'якшення фруктів. Оптимальні умови зберігання абрикосів відповідають температурі від –0,5 до 0 °С за відносній вологості 90–95%. В умовах холодного зберігання (близько 0 °С) пригнічується розвиток шкідливих для плода патогенів, але низька температура може завдати шкоди плодам, тому абрикоси не рекомендовано охолоджувати нижче ніж до –1 °С. Також рекомендовано уникати різкого охолодження фруктів, через яке посилюються деструктивні процеси в м'якоті плодів. Із заходів атмосферного контролю використовують додаткове введення в повітря камер зберігання CO<sub>2</sub> як фунгістату. Зазначимо, що необхідні атмосферні умови слід витримувати не тільки під час зберігання, але й під час транспортування, що, на жаль, не завжди виконується та призводить до псування плодів абрикоса ще до надходження в торговельну точку [6–8].

Після надходження до роздрібних торговельних мереж абрикоси зазвичай зберігаються за температури 2,2...7,6 °С, а для незрілих плодів застосовують температурний режим 18...24 °С, що викликає швидке дозрівання абрикосів. Ураховуючи можливі пошкодження абрикосів на попередніх етапах: мікротріщини, порізи, теплові й холодні травми, роздавлення, витікання соку, розм'якшення м'якоті й ураження патогенами (що інколи ідентифікується за зміною кольору), за такого режиму зберігання фрукти мають невеликий термін зберігання [8].

Результати аналізу сучасної вітчизняної та зарубіжної наукової й патентної літератури свідчать про недостатній рівень дослідженості зберігання кісточкових плодів. Зберігання абрикоса як окремого плоду протягом 10 років досліджувала В. М. Безменнікова. В її роботі [9] наведено теоретичне обґрунтування наукової проблеми подовження тривалості й ефективності зберігання плодів абрикоса сортів Краснощокій та Мелітопольський пізній шляхом обприскування дерев абрикоса водяними розчинами антиоксидантної композиції перед збиранням плодів. Автором доведено, що серед досліджених способів обробки плодів абрикоса найбільш ефективним є обприскування їх розчином антиоксидантної композиції АОК-М перед збиранням, яке забезпечує утворення на поверхні абрикосів плівки рівномірної товщини (7,5±0,4) мкм, що зменшує інтенсивність дихання плодів у 1,4–1,5 раза. Така обробка підтримує баланс вологи, чим зменшує природні втрати маси в 1,7–1,8 раза, індукує природний імунітет, підвищує вихід продукції першого товарного гатунку в 1,1–1,2 раза та подовжує термін зберігання плодів на 30 діб порівняно з необробленими плодами.

А. М. Мелконян [10] визначив критерії, що дозволяють науково прогнозувати придатність сорту абрикоса до низькотемпературного заморожування і тривалого зберігання: невелика соковіддача під час дефростації плодів відразу після заморожування (9–10 %), високий загальний показник смаку свіжих плодів (не менше ніж 2 бали), низький рівень поліфенольних сполук у свіжих плодах (катехинів 2–6 мг%, хлорогенової кислоти 31–57 мг%), високий рівень цукрів, вітамінів С і групи В. Користуючись зазначеними критеріями, автор відібрав кращі сорти, придатні до низькотемпературного заморожування і тривалого зберігання: Анбан, Арагаці та Єревані. Після розморожування вони зберігають смак, аромат, природне забарвлення, тверду консистенцію м'якоті на рівні свіжих.

Для збільшення терміну зберігання кісточкових плодів найчастіше використовують технологію регульованого середовища (контролю атмосфери всередині камери) [11–19]. Ця технологія передбачає зберігання продукції в герметичних холодильних камерах за зниженої концентрації  $O_2$  (1,0–2,5 %) і підвищеної  $CO_2$  (1,0–3,5 %) та залежить від технічного рівня й раціональних режимів роботи обладнання для формування і підтримання заданих газових режимів у камерах холодильника. Згідно з результатами дослідження, таке зберігання призводить до зниження інтенсивності метаболічних процесів у 2–3 рази, зменшується розвиток фізіологічних і грибкових захворювань (на 20–25 %), плоди зберігають первинну якість компонентів (кислота, цукор, смакові й ароматичні субстанції), а також набагато краще зберігають текстуру і твердість.

У патентах О. І. Квасенкова, І. І. Квасенкова, С. А. Єрмоленко, О. А. Юшина, В. Д. Надикта [20–54] запропоновано технологію гідроохолодження розчином, де антисептик використовували препарат, отриманий шляхом екстрагування різних біомас мікроміцетів, таких як *Mortierella elongata*, *Mortierella gracilis*, *Mortierella jenkinsii*, *Mortierella sclerotiella*, *Mortierella zychae*, *Mortierella marburgensis*, *Mortierella hygrophila* або *Mortierella parvispora*.

Як одну з технологій зберігання плодів у спеціальній тарі слід відзначити пластичний пакет, який розробив О.М. Томчук [55]. Він складається із кришки та коробки з подвійними стінками. У зазорі між зовнішньою і внутрішньою стінками по периметру пакета містяться капілярні трубки з водою, температура якої дорівнює заданій температурі в камері.

На сучасному етапі розвитку технологій зберігання плодів усе частіше приділяють увагу зберіганню за допомогою біологічних плівок. Такі технології екологічно чисті та недорогі. Зокрема, D. Shi [56] запропонував спосіб отримання консервувальної плівки для короткочасного зберігання плодів. Плівка уповільнює втрату води й адсорбування етилену, при цьому щільність плівки становить 0,5–0,9 г/см<sup>3</sup>. Плівка має достатню адсорбційну ємність для етилену, тому швидкість дозрівання плодів, загорнутих у неї, зменшується.

Z. Yanwen, W. Shijun, Z. Ping, Li Jiazheng [57] зазначали високу дієвість фізичної антибактеріальної плівки поліолефіну для зберігання екологічно чистих фруктів. Учені довели, що плівка може посилити фізичний антибактеріальний ефект.

Проте сучасні технології зберігання не передбачають знищення або пригнічення грибкових інфекцій плодів.

**Постановка завдання.** Метою статті є аналіз літературних джерел щодо наявних технологій зберігання абрикоса та використання лікарсько-технічної сировини як компонента, що пригнічує основні грибкові інфекції, для подовження зберігання фрукта у свіжому вигляді.

**Виклад основного матеріалу.** З огляду на хімічний склад плодів абрикоса їх первинними сапротрофами є гриби (*Trichothecium roseum*, *Alternaria alternata*, *Rhizopus arrhizus*, *Rhizopus circinans*, *Rhizopus nigricans*, *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium frequentans*, *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*, *Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola*, *Gilbertella persicaria*, *Aspergillus* spp., *Mucor* spp., *Cladosporium* spp. та ін.). Деякі види повністю знищуються фунгіцидами на етапі обробки сировини перед зберіганням, інші

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

зустрічаються дуже рідко й не можуть розглядатися як типові патогени плодів абрикоса. Вплив окремих патогенів на розвиток конкретних інфекцій плодів абрикоса ще остаточно не доведений [1, 8].

Наприклад, *Botrytis cinerea* й *Penicillium expansum* уражають лише ті плоди абрикоса, що були переохолоджені або тривалий час зберігалися за низьких температур (нижче за рекомендовану). Патогени роду *Gilbertella*, *Cladosporium*, *Mucor* й *Aspergillus* лише інколи стають збудниками хвороб гниття в перестиглих плодах. Роль патогенів *Alternaria alternate*, *Rhizopus arrhizus* й *Rhizopus circinans* у гнитті плодів абрикоса сьогодні вивчена недостатньо. Є підтверджені дані щодо здатності цих патогенів спричинити псування консервованих абрикосів, але стосовно свіжих фруктів остаточних даних не отримано. Отже, враховуючи сучасні методики й характеристики режиму зберігання плодів абрикоса, особливості фунгіцидів, що застосовуються для захисту плодів, і мікробіологічну характеристику культури, можна зробити висновок, що основними потенційними збудниками гнилі абрикосів є *Monilinia laxa* й *Rhizopus stolonifer*. З огляду на те, що більшість сільськогосподарських підприємств використовує фунгіциди на основі бензімідазолу, які активно контролюють популяцію *Monilinia laxa*, стає очевидним що на перший план виходять інфекції викликані *Monilia fructicola* [1].

Найнебезпечнішими й найпоширенішими захворюваннями абрикосів, що інфікують плоди після збору врожаю, є гриби родів *Monilinia* (*Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola*) та *Rhizopus stolonifer* (табл. 1).

Таблиця 1

*Основні захворювання абрикосів*

Хвороба	Бура моніліозна гниль	Головчата цвіль (мокра різопусна гниль)
Збудник	<i>Monilinia laxa</i> , <i>Monilinia fructicola</i>	<i>Rhizopus stolonifer</i>
Ознаки	Коричневі гнильні плями з конідіями або спорами [4; 8]	Пухкий міцелій гриба із сіро-чорними спорангіями, тканина плоду стає надзвичайно м'якою та водянистою [58]
Потрапляння інфекції на плоди	Через пошкодження знаходиться в латентній фазі й активно розповсюджується одразу після збору врожаю під час зберігання [4, 8]	Через травми, отримані під час збирання та обробки плодів [58]
Рішення для пригнічення інфекції під час зберігання	Спеціальний температурний режим і фунгіциди дозволяють мінімізувати ріст і розмноження гриба. Повністю знищити майже неможливо: патоген легко адаптується до низької температури і з часом виробляє стійкість до багатьох фунгіцидів [4, 8]	Спеціальний температурний режим і фунгіциди дозволяють забезпечити зберігання абрикосів протягом понад три дні. Один інфікований абрикос у контейнері може заразити майже всю партію за кілька днів [58]

Синтетичні фунгіциди є основним засобом боротьби з вищезазначеними хворобами. Найчастіше застосовують дихлоран, іпродіон, флюдиоксоніл, фталімідні й бензімідазольні фунгіциди. Вони використовуються окремо або об'єднуються в суміші. Проте декілька видів фунгіцидів були вилучені з ринку через можливі токсичні ризики.

Ураховуючи те, що гниття плодів абрикоса в сучасних умовах викликають конкретні грибові патогени, для розробки захисного засобу слід використати композицію екстрактів, що будуть ефективно контролювати їх ріст і розвиток. Також слід використати компонент із сильними загальними фунгіцидними та фунгістатичними властивостями з урахуванням усіх даних стосовно мікробіологічної характеристики культури.

Меліса лікарська (*Melissa officinalis*), також відома як лимонна м'ята, – багаторічна трав'яниста рослина, що здавна застосовується в традиційній і народній медицині завдяки своїм широко відомим протимікробним і протигрибковим властивостям. Як лікарсько рослинна сировина (ЛРС) у меліси зазвичай використовують листя, іноді стебла, з яких у фармацевтичній промисловості виготовляють водно-спиртові та сухі екстракти, ефірні олії або висушують і подрібнюють для отримання лікарських зборів.

Аналітичні й фітохімічні дослідження якісного складу ЛРС меліси (за допомогою спиртової екстракції) вказують на наявність таких груп хімічних речовин, як флавоноїди, конденсовані таніни, терпеноїди, феноли, хінони й сапоніни [59]. За даними Європейської фармакопеї, у ЛРС меліси міститься приблизно 0,06–0,8 % ефірної олії, основними компонентами якої були визначені монотерпенові альдегіди, переважно цитраль, нераль і цитронелаль (до 14,5 %), монотерпенові спирти: гераніол, ізogerаніол й нерол, а також сасквітерпени:  $\beta$ -каріюфілен, його оксиди і гермакрен-D. Крім того, до фітохімічного складу листя й стебел меліси входять монотерпенові глікозиди, тритерпени, таніни й біологічно активні флавоноїди: лютеолін, кверцетин, апігенін й камперфол. Важливою групою речовин у хімічному складі ЛРС меліси є гідроксикоричні кислоти, зокрема розмаринова (до 6 %), за вмістом якої проводиться стандартизація висушеної сировини [60–63].

Антибактеріальні властивості екстрактів і ефірних олій меліси були неодноразово доведені в багатьох дослідженнях, що може допомогти зменшити кількість вторинних інфекцій пошкоджених плодів і уповільнити псування [59; 62; 64].

Загальні протигрибкові властивості меліси також були підтвердженні багатьма тестами й дослідженнями. У праці Abdellatif і співавторів досліджено вплив ефірної олії, екстрагованої з листя меліси, на пригнічення росту міцелію патогенних грибів *Fusarium oxysporum albedinis*, *Fusarium oxysporum lini*, *Mucor ramannianus*, *Candida albicans* й *Saccharomyces cerevisiae*. За 35 мкг ефірної олії на диск зона інгібування росту становила 34–39 мм залежно від патогену з мінімальною інгібуючою концентрацією 1–3 мкл/мл, що є надзвичайно високим результатом [64].

Окремі дослідження протигрибкових властивостей екстрагованих ефірних олій меліси вказують на значну активність проти *Cladosporium carrionii* (у концентрації 512 мкг/мл відзначалося повне інгібування росту міцелію й проростання спор), *Botrytis cinerea* (у дозі 2 мкл/мл екстракт пригнічував ріст патогену майже на 80 %, а в дозі 160 мкл на диск повністю пригнічував ріст міцелію) й *Penicillium expansum* (у дозах 2 мкл/мл і 160 мкл на диск повністю пригнічувало ріст міцелію) [65; 66]. Крім того, існують дані щодо помірнього антигрибкового ефекту екстракту меліси проти *Monilia spp.* [67].

Уже давно доведена здатність екстрактів на основі рослин родини *Lamiaceae*, зокрема *Melissa officinalis* ефективно контролювати ріст і розвиток гриба *Rhizopus stolonifer* [68]. Так, високопрофесійне з точки зору методології дослідження El Ouadi та співавторів остаточно підтвердило наявність у *Melissa officinalis* фунгістатичних властивостей відносно до *Rhizopus stolonifer*. З огляду на зазначене запропоновано використання ефірних олій та екстрактів меліси в сільському господарстві для захисту врожаю на етапі зберігання плодів, зокрема яблук. Автори пов'язують фунгіцидні й фунгістатичні властивості *Melissa officinalis* у першу чергу зі сполуками, похідними ментолу (мента-1,2,3-тріол, мент-3-ен-8-ол, 2-піперитон), та продуктами його циклізації (оксиди піперитинону) у складі ефірної олії [66].

Шавлія лікарська (*Salvia officinalis*) – трав'яниста рослина родини *Lamiaceae*, що заготовляється й переробляється для потреб фармацевтичної галузі, оскільки має виражену антимікробну й антигрибкову дію та інші види активності. Основними компонентами ефірної олії є монотерпени з вираженою антигрибковою активністю:  $\alpha$ - й  $\beta$ -туйон (до 60 %), камфора (до 20 %), 1,8-цінеол (до 15 %); містяться сполуки  $\alpha$ - й  $\beta$ -пінен. Також до

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

складу ефірної олії входять сасквітерпени:  $\alpha$ -гумулен,  $\beta$ -каріофілен, виридифлорол. Крім ефірної олії, ЛРС шавлії багата на гідроксикоричні кислоти (до 3,5 %), особливо на розмаринову, вміст якої може сягати 3,3 %. Фенольні дитерпенові сполуки ЛРС шавлії представлені похідними карнозинової кислоти, а тритерпенові сполуки – урсоловою й олеаноловою кислотою,  $\alpha$ - й  $\beta$ -амірином. Загальний вміст флавоноїдів у листі шавлії досягає 1,1 %, із найбільшою часткою похідних лютеоліну, апігеніну, віценіну й сальвігеніну. Крім того, ЛРС шавлії містить невелику кількість фенольних глікозидів, полісахаридів, дериватів бензойної кислоти й фітостеролів [69; 70].

Загальні протигрибкові властивості продуктів на основі шавлії добре вивчені, особливо на модельному мікроорганізмі *Alternaria alternata*. Унаслідок вивчення ефірної олії закордонними авторами було встановлено, що в дозі 500 ppm вона повністю інгібує ріст міцелію патогену й знищує до 96 % міцелію, що вже розвинувся [70]. У ході дослідження оцтовокислого 29,4%-го екстракту листя шавлії було визначено мінімальну інгібуючу концентрацію – 1,25 мкг/мл й мінімальну фунгіцидну концентрацію 2,5 мкг/мл відносно до *Alternaria spp.*, що є високим показником протигрибкової активності [71].

Загальна протигрибкова активність екстрактів та ефірних олій *Salvia officinalis* вивчалася також на інших видах патогенних грибів, причому авторами цих праць була продемонстрована висока ефективність об'єктів дослідження. Виявлено, що водний екстракт у концентрації 25 мг/мл здатен повністю інгібувати ріст *Candida albicans*, а спиртовий екстракт у концентрації 100 мкл/мл майже повністю інгібував ріст патогену *Saccharomyces cerevisiae* [72–75].

Екстракт шавлії пропонували використовувати в сільському господарстві *Silvia Dagostin* і співавтори для захисту винограду від типових захворювань. Автори припускають, що профілактичне застосування екстракту шавлії дозволить зменшити захворюваність на 94 %, а при лікуванні вже інфікованого винограду близько 63 % урожаю можна буде врятувати [76].

Важливою властивістю ефірної олії шавлії є її висока протигрибкова активність відносно до *Rhizopus stolonifer*. Дослідження Alizadeh-Salteh і співавторів продемонстрували, що в разі прямого контакту з патогеном ефірна олія в кількості 24 мкл повністю інгібувала ріст міцелію *Rhizopus stolonifer* навіть через сім днів після інкубації [77].

У великому пошуковому аналізі румунських учених, спрямованому на виявлення природних альтернатив сучасним токсичним пестицидам для боротьби з патогенами *Monilinia*, встановлено, що водно-спиртовий екстракт листя *Salvia officinalis* має надзвичайно високі фунгістатичні властивості й у ході тесту «poisoned food technique» повністю інгібував ріст міцелію *Monilinia fructigena* [78].

Вербена лікарська (*Verbena officinalis*) – багаторічна трав'яниста рослина, яка використовується у фармацевтичній галузі як компонент багатьох фітотерапевтичних засобів, у тому числі з антибактеріальною й антигрибковою активністю.

Фітохімічні дослідження трави *Verbena officinalis* вказують на наявність у складі рослини поліфенолів, сопонів, флавоноїдів, танінів, терпеноїдів, іридоїдів, дериватів фенольних кислот і глікозидів, зокрема, вербенаміну. Крім того, у меншій кількості до складу рослини входять сильнодіючі біологічно активні речовини: кардіоглікозиди й фітостероїди, що слід урахувувати під час розробки складу захисного засобу для плодів абрикоса. В ефірній олії *Verbena officinalis* міститься більше всього цитралю, трава вербени є джерелом для промислового одержання цього монотерпену на фармацевтичних підприємствах. Також в ефірній олії наявні  $\beta$ -феландрен,  $\beta$ -пінен, камфен, карвакрол, цитрал, о-цимен,  $\gamma$ -терпінен і тимол [79–81].

Експеримент з вивчення протигрибкової активності компонентів ефірної олії *Verbena officinalis* й інших монотерпенів проти *Botrytis cinerea*, *Penicillium italicum*, *Penicillium expansum*, *Phytophthora citrophthora* й *Rhizopus stolonifer* показав, що в дозі 250 ppm ко-

жен із компонентів ефірної олії ефективно пригнічує ріст і розвиток патогенів. Проаналізувавши отримані експериментальні дані й фітохімічну характеристику ефіроолійних рослин, автори зробили висновок, що *Verbena officinalis* може стати перспективною сировиною для виготовлення ефективних, нешкідливих протигрибкових засобів [81].

В іншому дослідженні Casanova й співавтори розглядали можливість використання екстрактів *Verbena officinalis* проти патогенних грибів *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea*, *Penicillium expansum* і *Rhizopus stolonifer*. Додавання метанольного екстракту *Verbena officinalis* у дозі 250 ppm помітно пригнічувало ріст і розвиток патогенів. На другому етапі експерименту екстракти були розібрані на фракції й повторно досліджені. При цьому з'ясувалося, що на *Penicillium expansum* і *Rhizopus stolonifer* найефективніше впливали деривати коричних кислот із пригніченням росту міцелію на 87 і 79 % відповідно [82].

**Висновки відповідно до статті.** Аналіз сучасної вітчизняної та зарубіжної наукової літератури свідчить про те, що недостатньо уваги приділяється зберіганню кісточкових плодів, зокрема подовженню терміну зберігання абрикоса як окремого плоду. Найчастіше для зберігання абрикосів використовують відомі технології, застосовувані для всіх видів плодів та овочів: швидке заморожування, регульовану атмосферу та зберігання в спеціальній тарі. Однак такі технології є дорогими або неефективними проти грибкових інфекцій, що уражають плоди вже під час збирання. Тому для розробки нової технології зберігання ми пропонуємо використовувати захисний засіб з антибактеріальними властивостями проти основних грибкових інфекцій абрикоса – грибів роду *Monilinia* (*Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola*) та *Rhizopus stolonifer*.

Ураховуючи мікробіологічну характеристику плодів абрикоса, захисний засіб, до складу якого входять екстракти листя меліси та шавлії, трави вербени, може стати новим ефективним фунгіцидом для використання в сільськогосподарському секторі. Оскільки важливою характеристикою безпеки речовин, що контактують безпосередньо з продуктами харчування, є мінімальна токсичність і високі антибактеріальні властивості, для застосування в розробці технології засобу рекомендовані водні та водно-спирто-гліцеринові екстракти зазначеної рослинної сировини.

#### Список використаних джерел

1. Joseph M. Ogawa, Harley English. Diseases of Temperate Zone Tree Fruit and Nut Crops. University California Division of Agriculture and Natural Resources: Oakland, CA. 1991. 461 p.
2. Grebenisan I., Cornea C. P., Mateescu R., Olteanu V., Voaides C. Buletin. Control of postharvest fruit rot in apricot and peach by *Metschnikowia pulcherrima*. *USAMV-CN*. 2006. Vol. 62. P. 74-79.
3. Gorris L. G. M., Smid E. J. Crop protection using natural antifungal compounds. *Pestic. Outlook*. 1995. Vol. 6. P. 20-24.
4. Giacalone G., Chiabrando V. Dipartimento di Colture Arboree – Facoltà di Agraria Università degli Studi di Torino, Italia. *Postharvest quality of apricot cultivars in relation to storage period: preliminary results*. 2010. September. Vol. 3 (39). P. 39-44.
5. Witherspoon J. M., Jackson J. F. Analysis of fresh and dried apricots. *Modern methods of plant analysis / H. F. Linskens and J. F. Jackson (editors)*. Springer-Verlag, Berlin. 1996. P. 111-131.
6. Chambroy V. et al. Effects of different CO<sub>2</sub> treatments on postharvest changes of apricot fruit. *Acta Hort*. 1991. Vol. 293. P. 675-684.
7. Trurter A. B., Combrink J. C., Mollendorff L. J. Controlled-atmosphere storage of apricots and nectarines. *Decid. Fruit Grower*. 1994. Vol. 44. P. 421-427.
8. Manolopoulou H., Mallidis C. *International Society for Horticultural Science. The world's leading independent organization of horticultural scientists*. Storage and processing of apricots. 1999. Vol. 488. P. 567-576. DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.488.93.
9. Беменикова В. М. Обґрунтування використання нових антиоксидантних препаратів для зберігання плодів абрикоса: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.01.15 / Нац. університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2010. 25 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Мелконян А.М. Підбір сортів абрикоса для зберігання у замороженому вигляді та одержання продуктів переробки: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 05.18.03 / Українська академія аграрних наук інститут винограду і вина «Магарач». Ялта, 2000. 17 с.

11. Пат. CN104642513(A), МПК A23B7/148. Method for preserving fruits and vegetables by using controlled atmosphere storage house with water-air heat exchanger / Jiang Fen; Заявл. 05.02.2015; опубл. 27.05.2015.

12. Пат. CN203949317 (U), МПК A23L3/36, F24F11/02, F24F6/12, F25D13/00. Air cooler synchronous humidification system for fruit and vegetable cold storage storeroom / Feng Zhihong, Wang Chunsheng, Song Zhuojun, Li Chao, Wang Liang, Chen Jia; Zhao Yingli; Заявл. 12.03.2014; опубл. 19.11.2014.

13. Дмитриев А. В. Оптимизация режимов работы газоразделительных установок и повышение эффективности технологии хранения яблок: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01, 05.18.01 / Мичуринский гос. аграр. ун-т. Мичуринск, 2003. 144 с.

14. Пат. CN102609011 (A), МПК A23L3/3418, G05D11/13. Gas regulation control method of spontaneous modified atmosphere storage for fruit and vegetable preservation / Juan Wang, Xiangyou Wang, Peijuan Xiang, Miao Huang, Xin Han; Заявл. 21.03.2012; опубл. 25.07.2012.

15. Пат. CN105123897 (A), МПК A23B7/04, A23B7/152, A23B7/154, A61L2/18. Cold storage method of vegetables in agricultural and sideline products / Zhang Guoqian, Zheng Yang, Zhang Jian; Заявл. 25.08.2015; опубл. 09.12.2015. 1 с.

16. Пат. TW201117726 (A), МПК A23B7/04, B65D81/02. Cold storage method for fruit and vegetable / Cheng Sung-Chi; Заявл. 27.11.2009; Опубл. 01.06.2011.

17. Соколов В. Н. Технологическое обоснование применения двухфазных хладоносителей для замораживания плодов и овощей: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.04 / Санкт-Петербургский гос. ун-т низкотемпературных и пищевых технологий. Санкт-Петербург, 2004. 193 с.

18. Пат. CN202184088 (U), МПК A23B7/04, F25D19/00. Integrated fruit and vegetable differential pressure precooling storage / Sheng Liu, Jinpeilou; Заявл. 15.07.2011; опубл. 11.04.2012.

19. Пат. 2013 156 913 А Российская Федерация, МПК A23L 3/00. Универсальный и простой способ сохранения товарного вида, вкусовых и полезных качеств овощей и фруктов при их продолжительном хранении / Милевский В. Б.; заявитель и патентообладатель Милевский В. Б. № 2013156913/13; Заявл. 20.12.2013; опубл. 10.04.2016.

20. Пат. 2002 117 467 А Российская Федерация, МПК A01F 25/00, C12P 1/00, C12P 1/02, A23L 3/3463, A23B 7/154. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Ермоленко С. А., Юшина Е. А., Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117467/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 27.12.2003.

21. Пат. 2002 117 468 А Российская Федерация, МПК A01F 25/00, C12P 1/00, C12P 1/02, A23L 3/3463, A23B 7/154. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И., Юшина Е. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117468/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 27.12.2003.

22. Пат. 2002 117 469 А Российская Федерация, МПК A01F 25/00, A23B 7/154, C12P 1/00, C12P 1/02, A23L 3/3463. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Юшина Е. А., Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117469/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 27.12.2003.

23. Пат. 2002 117 470 А Российская Федерация, МПК A01F 25/00, A23B 7/154, C12P 1/02. Россия, Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И., Квасенков И. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117470/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 27.12.2003.

24. Пат. 2002 117 485 А Российская Федерация, МПК A01F 25/00, A23B 7/154, C12P 1/02, A23L 3/3463. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Ермоленко С. А., Квасенков О. И., Надькта В. Д.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117485/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 10.01.2004.

25. Пат. 2002 117 486 А Российская Федерация, МПК A01F 25/00, A23B 7/154, C12P 1/02, A23L 3/3463. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И., Надькта В. Д., Ермо-

ленко С. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117486/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 27.12.2003.

26. Пат. 2002 117 488 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/02, А23L 3/3463. Россия, Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Надыкта В. Д., Квасенков О. И., Ермоленко С. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117488/13; Заявл. 02.07.2002; опубл. 10.01.2004.

27. Пат. 2002 117 656 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/155, С12Р 1/02. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117656/13; Заявл. 03.07.2002; опубл. 27.12.2003.

28. Пат. 2002 117 657 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12N 1/14, С12N 1/14, С12R 1/645. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117657/13; Заявл. 03.07.2002; опубл. 27.12.2003.

29. Пат. 2002 117 659 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/02, А23L 3/3463. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117659/13; Заявл. 03.07.2002; опубл. 27.12.2003.

30. Пат. 2002 117 661 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12N 1/14, С12N 1/14, С12R 1/645. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117661/13; Заявл. 03.07.2002; опубл. 27.12.2003.

31. Пат. 2002 117 663 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12N 1/14, С12N 1/14, С12R 1/645. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117663/13; Заявл. 03.07.2002; опубл. 27.12.2003.

32. Пат. 2002 117 896 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, С12Р 1/00, С12Р 1/02, А23В 7/154, А23L 3/3463. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117896/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 20.12.2003.

33. Пат. 2002 117 897 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/02, А23L 3/3463. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117897/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

34. Пат. 2002 117 898 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117898/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

35. Пат. 2002 117 903 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117903/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

36. Пат. 2002 117 904 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/02, А23L 3/3463. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117904/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

37. Пат. 2002 117 906 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117906/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

38. Пат. 2002 117 909 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/00, С12Р 1/02. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117909/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

39. Пат. 2002 117 910 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/02, А23L 3/3463. Способ подготовки плодов или овощей к хранению: / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117910/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

40. Пат. 2002 117 915 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/02, А23L 3/3463. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117915/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

41. Пат. 2002 117 916 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12Р 1/00, С12Р 1/02. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117916/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

42. Пат. 2002 117 918 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12N 1/14, С12N 1/14, С12R 1/645. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117918/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

43. Пат. 2002 118 167 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118167/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

44. Пат. 2002 117 893 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, С12N 1/14, С12N 1/14, С12R 1/645. Способ подготовки плодов или овощей к хранению / Квасенков И. И., Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002117893/13; Заявл. 04.07.2002; опубл. 27.12.2003.

45. Пат. 2002 118 145 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И., Ермоленко С. А., Надыкта В. Д.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118145/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

46. Пат. 2002 118 147 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Надыкта В. Д., Ермоленко С. А., Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118147/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

47. Пат. 2002 118 148 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/14, С12Р 1/02. Россия, Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И., Надыкта В. Д., Ермоленко С. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118148/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 20.01.2005.

48. Пат. 2002 118 149 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Ермоленко С. А., Квасенков О. И., Надыкта В. Д.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118149/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

49. Пат. 2002 118 153 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И., Юшина Е. А., Ермоленко С. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118153/1; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

50. Пат. 2002 118 155 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Юшина Е. А., Квасенков О. И., Ермоленко С. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118155/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

51. Пат. 2002 118 158 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23L 3/3463, А23В 7/154, А01N 63/00, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Ермоленко С. А., Юшина Е. А., Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118158/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

52. Пат. 2002 118 159 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, С12Р 1/00, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Квасенков О. И., Юшина Е. А.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118159/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

53. Пат. 2002 118 160 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, С12Р 1/00, С12Р 1/02, А23L 3/3463, А23В 7/154. Способ хранения плодов или овощей / Юшина Е. А., Квасенков О. И.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118160/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

54. Пат. 2002 118 149 А Российская Федерация, МПК А01F 25/00, А23В 7/154, А23L 3/3463, С12Р 1/02. Способ хранения плодов или овощей / Ермоленко С. А., Квасенков О. И., Надыкта В. Д.; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений. № 2002118149/13; Заявл. 08.07.2002; опубл. 10.01.2004.

55. Пат. CN104309903 (А), МПК В29С55/28, В29D7/01, В65D30/02, В65D65/02, С08К3/16, С08L23/06, С08L23/08, С08L3/04, С08L3/08. Preservative film for short-term storage of fruits and vegetables, preparation method of preservative film and prepared preservative bag / Shi Dixing; Заявл. 25.09.2014; Опубл. 28.01.2015.

56. Пат. 85031 U Україна, МПК А23В 7/14. Спосіб підготовки зелених овочів до зберігання / Калитка В. В., Прісс О. П., Жукова В. Ф., Кулік А. С.; заявник та патентовласник Таврійський державний агротехнологічний університет. № u201305153; Заявл. 22.04.2013; опубл. 22.04.2013, Бюл. № 21.

57. Пат. 20183 (U) Україна, МПК А23В 4/00, А01F 25/00, С08В 37/00. Застосування водного розчину хітозану як консерванта для обробки продуктів харчування рослинного походження перед збереженням / Кавиршин О. П.; заявник та патентовласник Федоров С.А. № u200607684; Заявл. 10.07.2006; опубл. 15.01.2007, Бюл. № 1.

58. Abd A., El-Sayed M. A, Ziedan H., Riad S., El-Mohamedy. Control of Rhizopus rot disease of Apricot Fruits (*Prunus armeniaca* L.) by Some Plant Volatiles Aldehydes. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 2008. Vol. 4(5). P. 424-433.

59. Mutalib L.Y. Physicochemical, phytochemical and biological study of *Melissa officinalis* growing naturally in Kurdistan Region/Iraq: Comparative study. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*. 2015. Vol. 10. Is. 5. P. 67-72. DOI: 10.9790/3008-10536772

60. European Pharmacopoeia, Council of Europe European (COE), European Directorate for the Quality of Medicines (EDQM). Strasbourg: France, 2008. 6th edition.

61. Hänsel R., Keller K., Rimpler H., Schneider G. Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis. Bd. 6: Drogen P-Z, 5th ed. Berlin, Springer-Verlag, 1994. 970 p.

62. Jalal Z., Atki Y.E. Lyoussi B., Abdellaoui A. Phytochemistry of the essential oil of *Melissa officinalis* L. growing wild in Morocco: Preventive approach against nosocomial infections. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. 2015. Vol. 5. Is. 6. P. 458-461. DOI: 10.1016/j.apjtb.2015.03.003

63. Monographs on the medicinal uses of plant drugs / ESCOP, European Scientific Cooperative on Phytotherapy. Fascicule 1. 1996.

64. Abdellatif F., Boudjella H., Zitouni A., Hassani A. Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from leaves of Algerian *Melissa officinalis* L. *EXCLI J*. 2014. Vol. 13. P. 772-781.

65. Pinheiro de Menezes C., Guerra F.Q.S., Pinheiro L.S., Trajano V.N., Fillipe de Oliveira Pereira, Valmir Gomes de Souza, Fábio Santos de Souza, Edeltrudes de Oliveira Lima. Investigation of *Melissa officinalis* L. Essential Oil for Antifungal Activity against *Cladosporium carrionii*. *International Journal of TROPICAL DISEASE & Health*. 2015. Vol. 8(2). P. 49-56.

66. El. Ouadi Y., Manssouri M., Bouyanzer A., Majidi L., Bendaif H., Elmsellem H., Shariati M.A., Melhaoui A., Hammouti B. Essential oil composition and antifungal activity of *Melissa officinalis* originating from north-Est Morocco, against postharvest phytopathogenic fungi in apples. *Microbial Pathogenesis*. 2017. Vol. 107. P. 321-326. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.04.004.

67. Teodorescu G., Sumedrea M., Marin F.C., Murariu F. Use of Vegetal Extracts in Control of *Monilia* spp. *Balkan Symposium on Fruit Growing*. 2009. Vol. 825. P. 363-370.

68. López V., Akerreta S., Casanova E., García-Mina J.M., Caveró R.Y., Calvo M.I. In vitro antioxidant and anti-rhizopus activities of Lamiaceae herbal extracts. *Plant Foods Hum Nutr*. 2007. Vol. 62(4). P. 151-155.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

69. BHC 2006: Bradley PR, editor. British Herbal Compendium Volume 2: A Handbook of Scientific Information on Widely Used Plant Drugs-Companion to the British Herbal Pharmacopoeia.

70. Mahmoudi E., Ahmadi A. Evaluation of *Salvia officinalis* antifungal properties on the growth and morphogenesis of *Alternaria alternata* under in-vitro conditions. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2013 Vol. 17. P. 2062-2069.

71. Dellavalle P.D., Cabrera A., Alem D., Larrañaga P., Ferreira F., Rizza M.D. Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. *Chilean journal of agricultural research*. 2011. Vol. 71. P. 231-239.

72. Rusul Mohammad jasim MSc, Israa Mohammad Abd AL-khaliq Msc. Inhibitory Effect of Aqueous *Salvia officinalis*'s leaves in the Growth of *Candida albicans* from Infected Women with Vaginal Candidiasis. *Al-Kindy College Medical Journal*. 2011. Vol. 7. P. 47-49.

73. Badiie P., Nasirzadeh A. R., Motaffaf M. Comparison of *Salvia officinalis* L. essential oil and antifungal agents against *Candida* species. *Journal of Pharmaceutical Technology & Drug Research*. 2012. P. 5. DOI: 10.7243/2050-120X-1-7.

74. Farcasanu I. C., Oprea E. Ethanol extracts of *Salvia officinalis* exhibit antifungal properties against *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Analele Universităţii din Bucureşti*. 2006. Vol. 1. P. 51-55.

75. Rus C.F., Pop G., Alexa E., Şumalan R.M., Copolovici D.M. Antifungal activity and chemical composition of *salvia officinalis* L. Essential oil. *Research Journal of Agricultural Science*. 2015. Vol. 47 (2). P. 186-193.

76. Dagostin S., Formolo T., Giovannini O., Pertot I., Schmitt A. *Salvia officinalis* Extract Can Protect Grapevine Against *Plasmopara viticola*. *Plant Dis*. 2010. Vol. 94. No. 5. P. 575–580.

77. Alizadeh-Salteh S., Arzani K., Omidbeigi R., Safaie N. Essential Oils Inhibit Mycelial Growth of *Rhizopus stolonifera*. *Europ.J.Hort.Sci*. 2010. Vol. 75 (6). P. 278–282.

78. Groza R.A., Carmen Emilia Pula C.E. The Fungistatic Effect of Plant Extracts Against *Monilinia fructigena* (Aderhold Et Ruhl) Honey Ex Whetzel as Causal Agent of Brown Rot. *Bulletin USAMV series Agriculture*. 2015. Vol. 72. P. 289-290. DOI: 10.15835/buasvmcn-agr:11191.

79. Mengiste B., Yesufn J.M., Getachew B. In-vitro antibacterial activity and phytochemical analysis of leaf extract of *verbena officinalis*. *IJP*. 2014. Vol. 1. Is. 12.

80. Rehecho S., Hidalgo O., Mikel García-Iñiguez de Cirano, Navarro S., Astiasarán I., Ansorena D., Cavero R.Y., Calvo M.I. Chemical composition, mineral content and antioxidant activity of *Verbena officinalis* L. *LWT – Food Science and Technology*. 2011. Vol. 44. Is. 4. P. 875-882. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.035.

81. Camele I., Altieri L., Laura De Martino, Vincenzo De Feo, Mancini E., Rana G.L. In Vitro Control of Post-Harvest Fruit Rot Fungi by Some Plant Essential Oil Components Ippolito. *Int J Mol Sci*. 2012. Vol. 13(2). P. 2290–2300. DOI: 10.3390/ijms13022290.

82. Casanova L. E., García-Mina J. M., Calvo V. I. Antioxidant and Antifungal Activity of *Verbena officinalis* L. *Plant Foods Hum Nutr*. 2008. Vol. 63. P. 93–97 DOI: 10.1007/s11130-008-0073-0.

### References

1. Joseph M. Ogawa, Harley English (1991). Diseases of Temperate Zone Tree Fruit and Nut Crops. University California Division of Agriculture and Natural Resources: Oakland, CA.

2. Grebenisan I., Cornea C.P., Mateescu R., Olteanu V., Voaides C. (2006). Control of postharvest fruit rot in apricot and peach by *Metschnikowia pulcherrima*. *Bulletin of university of agricultural sciences and veterinary medicine cluj- napoca. Agriculture*, 62, 74-79.

3. Gorris, L. G. M., Smid, E. J. (1995). Crop protection using natural antifungal compounds. *Pesticid Outlook*, 6, 20-24.

4. Giacalone, G., Chiabrando, V. (2010). Postharvest quality of apricot cultivars in relation to storage period: preliminary results. Dipartimento di Colture Arboree - Facoltà di Agraria Università degli Studi di Torino, Italia. 2010. September, 3 (39), 39-44.

5. Witherspoon, J. M., Jackson, J. F. (1996). Analysis of Fresh and Dried Apricot. In: Linskens H.F., Jackson J.F. (eds) *Fruit Analysis. Modern Methods of Plant Analysis*, 18, 111-113.

6. Chambroy, V. et al. (1991). Effects of different CO<sub>2</sub> treatments on postharvest changes of apricot fruit. *Acta Hort*, 293, 675-684.

7. Trurter, A. B., Combrink, J. C., Mollendorff, L. J. (1994). Controlled-atmosphere storage of apricots and nectarines. *Decid. Fruit Grower*, 44, 421-427.

8. Manolopoulou, H., Mallidis, C. (2010). Storage and processing of apricots. *International Society for Horticultural Science. The world's leading independent organization of horticultural scientists*, 488, 567-576. DOI: 10.17660/ActaHortic.1999.488.93.

9. Bemennikova, V. M. (2010). Obgruntuvannia vykorystannia novykh antyoksydannykh preparativ dlia zberihannia plodiv abrykosa [Rationale for the use of new antioxidant preparations for the storage of apricot fruits]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Nats. universytet bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy, Kyiv [in Ukrainian].

10. Melkonian, A. M. (2000). Pidbir sortiv abrykosa dlia zberihannia u zamorozhenomu vyhliadi ta oderzhannia produktiv pererobky [Selection of apricot varieties for storage in frozen form and obtaining of processed products]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Ukrainska akademiia ahrarykh nauk instytut vynohradu i vyna «Maharach», Yalta [in Ukrainian].

11. Jiang Fen (2015). Method for preserving fruits and vegetables by using controlled atmosphere storage house with water-air heat exchanger. China Patent No. CN104642513(A). Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20150527&CC=CN&NR=104642513A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20150527&CC=CN&NR=104642513A&KC=A).

12. Feng Zhihong, Wang Chunsheng, Song Zhuojun, Li Chao, Wang Liang, Chen Jia; Zhao Yingli (2014). Air cooler synchronous humidification system for fruit and vegetable cold storage storeroom. China Patent No. CN 203949317 (U). Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20141119&CC=CN&NR=203949317U&KC=U](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20141119&CC=CN&NR=203949317U&KC=U).

13. Dmitriev, A. V. (2003). Optimizatsiia rezhimov raboty gazorazdelitelnykh ustanovok i povyshenie effektivnosti tehnologii hraneniia iablok [Optimization of modes of operation of gas separation plants and increase of efficiency of technology of storage of apples]. *Candidate's thesis*. Michurinskii gos. agrar. un-t, Michurinsk [in Russian].

14. Juan Wang, Xiangyou Wang, Peijuan Xiang, Miao Huang, Xin Han (2012). Gas regulation control method of spontaneous modified atmosphere storage for fruit and vegetable preservation. China Patent No. CN102609011. Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20120725&CC=CN&NR=102609011A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20120725&CC=CN&NR=102609011A&KC=A).

15. Zhang Guoqian, Zheng Yang, Zhang Jian (2015). Cold storage method of vegetables in agricultural and sideline products. China Patent No. CN105123897 (A). Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20151209&CC=CN&NR=105123897A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20151209&CC=CN&NR=105123897A&KC=A).

16. Cheng Sung-Chi (2011). Cold storage method for fruit and vegetable. China Patent No. TW201117726 (A). Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20110601&CC=TW&NR=201117726A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20110601&CC=TW&NR=201117726A&KC=A).

17. Sokolov V. N. (2004). Tehnologicheskoe obosnovanie primeneniya dvuhfaznykh hladonositelej dlja zamorazhivaniya plodov i ovoshhej [Technological justification for the use of two-phase refrigerants for the freezing of fruits and vegetables]. *Candidate's thesis*. Sankt-Peterburgskii gos. un-t nizkotemperaturnykh i pishhevykh tehnologii, SPb [in Russian].

18. Sheng Liu, Jinpeilou (2012). Integrated fruit and vegetable differential pressure precooling storage. China Patent No Pat. CN202184088 (U). Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20120411&CC=CN&NR=202184088U&KC=U](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20120411&CC=CN&NR=202184088U&KC=U).

19. Milevskii, V. B. (2016). Universal'nyj i prostoj sposob sohraneniya tovarnogo vida, vkusovyh i poleznyh kachest ovoshhej i fruktov pri ih prodolzhitel'nom hranenii [A universal and simple way to preserve the presentation, taste and healthy qualities of vegetables and fruits during their long-term storage]. Patent RF № 2013156913 A [in Russian].

20. Ermolenko, S. A., Jushina, E. A., Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshhej k hraneniju [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. 2002117467 A [in Russian].

21. Kvasenkov, O. Y., Yushyna, E. A. (2003). Sposob podgotovky plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117468/13 [in Russian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

22. Yushyna, E. A., Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovky plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117469/13 [in Russian].

23. Kvasenkov, O. I., Kvasenkov, I. I. (2003). Rossiya, Sposob podgotovky plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117470/13 [in Russian].

24. Ermolenko, S. A., Kvasenkov, O. I., Nadykta, V. D. (2003). Sposob podgotovky plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117485/13 [in Russian].

25. Kvasenkov O. Y., Nadykta V. D., Ermolenko S. A. (2003). Sposob podgotovky plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117486/13 [in Russian].

26. Nadykta, V. D., Kvasenkov, O. I., Ermolenko, S. A. (2003). Rossiia, Sposob podgotovky plodov ili ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117488/13 [in Russian].

27. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117656/13 [in Russian].

28. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117657/13 [in Russian].

29. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117659/13 [in Russian].

30. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117661/13 [in Russian].

31. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117663/13 [in Russian].

32. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117896/13 [in Russian].

33. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117897/13 [in Russian].

34. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117898/13 [in Russian].

35. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117903/13 [in Russian].

36. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117904/13 [in Russian].

37. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117906/13 [in Russian].

38. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117909/13 [in Russian].

39. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117910/13 [in Russian].

40. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117915/13 [in Russian].

41. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117916/13 [in Russian].

42. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117918/13 [in Russian].

43. Kvasenkov, O. I. (2003). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118167/13 [in Russian].

44. Kvasenkov I. I., Kvasenkov O. I. (2003). Sposob podgotovki plodov ili ovoshchei k khraneniui [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002117893/13 [in Russian].

45. Kvasenkov, O. I., Ermolenko S. A., Nadykta V. D. (2004). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118145/13 [in Russian].

46. Nadykta, V. D., Ermolenko, S. A., Kvasenkov, O. Y. (2004). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118147/13 [in Russian].
47. Kvasenkov, O. I., Nadykta, V. D., Ermolenko, S. A. (2005). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118148/13 [in Russian].
48. Ermolenko, S. A., Kvasenkov, O. I., Nadykta, V. D. (2004). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118149/13 [in Russian].
49. Kvasenkov O. I., Yushyna, E. A., Ermolenko, S. A. (2004). Sposob khraneniia plodov ili ovoshchei [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118153/13 [in Russian].
50. Yushyna, E. A., Kvasenkov, O. I., Ermolenko, S. A. (2004). Sposob khraneniia plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002 118 155 /13 [in Russian].
51. Ermolenko, S. A., Yushyna, E. A., Kvasenkov, O. I. (2004). Sposob khraneniia plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118158/13 [in Russian].
52. Kvasenkov, O. I., Yushyna, E. A. (2004). Sposob khraneniia plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118159/13 [in Russian].
53. Yushyna, E. A., Kvasenkov, O. I. (2004). Sposob khraneniia plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118160/13 [in Russian].
54. Ermolenko, S. A., Kvasenkov, O. I., Nadykta, V. D. (2004). Sposob khraneniia plodov yly ovoshchei k khranenyiu [The method of preparing fruits or vegetables for storage]. Patent RF Pat. No. 2002118149/13 [in Russian].
55. Shi Dixing (2015). Preservative film for short-term storage of fruits and vegetables, preparation method of preservative film and prepared preservative bag. China Patent No. CN104309903 (A). Retrieved from [https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru\\_RU&FT=D&date=20150128&CC=CN&NR=104309903A&KC=A](https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?II=0&ND=3&adjacent=true&locale=ru_RU&FT=D&date=20150128&CC=CN&NR=104309903A&KC=A).
56. Kalytka, V. V., Priss, O. P., Zhukova, V. F., Kulik, A. S. (2013). Sposib pidhotovky zelenykh ovochiv do zberihannia [A method of preparing green vegetables for storage]. Ukraine Patent u201305153 [in Ukraine].
57. Kavyrshyn, O. P (2007). Zastosuvannia vodnoho rozchynu khitozanu yak konservanta dlia obrobky produktiv kharchuvannia roslynnoho pokhodzhennia pered zberezhenniam [The use of an aqueous solution of chitosan as a preservative for processing food products of plant origin before conservation]. Ukraine Patent No. u200607684 [in Ukraine].
58. Abd, A., El-Sayed, M. A, Ziedan, H., Riad, S., El-Mohamedy (2008). Control of Rhizopus rot disease of Apricot Fruits (*Prunus armeniaca* L.) by Some Plant Volatiles Aldehydes. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 4(5), 424-433.
59. Mutalib, L. Y. (2015). Physicochemical, phytochemical and biological study of *Melissa officinalis* growing naturally in Kurdistan Region\Iraq: Comparative study. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences (IOSR-JPBS)*, 10 (5), 67-72. DOI: 10.9790/3008-10536772.
60. European Pharmacopoeia, Council of Europe European (COE), European Directorate for the Quality of Medicines (EDQM) (2008). (6th edition). Strasbourg: France.
61. Hänsel, R., Keller, K., Rimpler, H., Schneider, G. (1994). Hagers Handbuch der pharmazeutischen Praxis. Bd. 6: Drogen P-Z, 5th ed. Berlin, Springer-Verlag.
62. Jalal, Z., Atki, Y. E., Lyoussi, B., Abdellaoui, A. (2015). Phytochemistry of the essential oil of *Melissa officinalis* L. growing wild in Morocco: Preventive approach against nosocomial infections. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 5 (6), 458-461. DOI: 10.1016/j.apjtb.2015.03.003.
63. Monographs on the medicinal uses of plant drugs (1996). ESCOP, European Scientific Cooperative on Phytotherapy. Fascicule 1.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

64. Abdellatif, F., Boudjella, H., Zitouni, A., Hassani, A. (2014). Chemical composition and antimicrobial activity of the essential oil from leaves of Algerian *Melissa officinalis* L. *EXCLI J.*, 13, 772–781.
65. Pinheiro de Menezes C., Guerra F.Q.S., Pinheiro L.S., Trajano V.N., Fillipe de Oliveira Pereira, Valmir Gomes de Souza, Fábio Santos de Souza, Edeltrudes de Oliveira Lima (2015). Investigation of *Melissa officinalis* L. Essential Oil for Antifungal Activity against *Cladosporium carrionii*. *International Journal of TROPICAL DISEASE & Health*, 8(2), 49-56.
66. El. Ouadi Y., Manssouri, M., Bouyanzer, A., Majidi, L., Bendaif, H., Elmsellem, H., Shariati, M. A., Melhaoui, A., Hammouti, B. (2017). Essential oil composition and antifungal activity of *Melissa officinalis* originating from north-Est Morocco, against postharvest phytopathogenic fungi in apples. *Microbial Pathogenesis*, 107, 321-326. DOI: 10.1016/j.micpath.2017.04.004.
67. Teodorescu, G., Sumedrea, M., Marin, F. C., Murariu, F. (2009). Use of Vegetal Extracts in Control of *Monilia* spp. *Balkan Symposium on Fruit Growing*, 825, 363-370.
68. López, V., Akerreta, S., Casanova, E., García-Mina, J. M., Cavero, R. Y., Calvo, M. I. (2007). In vitro antioxidant and anti-rhizopus activities of Lamiaceae herbal extracts. *Plant Foods Hum Nutr*, 62(4), 151-155.
69. BHC 2006: Bradley PR, editor. British Herbal Compendium Volume 2: A Handbook of Scientific Information on Widely Used Plant Drugs-Companion to the British Herbal Pharmacopoeia.
70. Mahmoudi, E., Ahmadi, A. (2013). Evaluation of *Salvia officinalis* antifungal properties on the growth and morphogenesis of *Alternaria alternata* under in-vitro conditions. *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences*, 17, 2062-2069.
71. Dellavalle, P. D., Cabrera, A., Alem, D., Larrañaga, P., Ferreira, F., Rizza, M. D. (2011). Antifungal activity of medicinal plant extracts against phytopathogenic fungus *Alternaria* spp. *Chilean journal of agricultural research*, 71, 231-239.
72. Rusul Mohammad jasim MSc, Israa Mohammad Abd AL-khaliq Msc. (2011). Inhibitory Effect of Aqueous *Salvia officinalis* leaves in the Growth of *Candida albicans* from Infected Women with Vaginal Candidiasis. *Al-Kindy College Medical Journal*, 7, 47-49.
73. Badiee, P., Nasirzadeh, A. R., Motaffaf, M. (2012). Comparison of *Salvia officinalis* L. essential oil and antifungal agents against candida species. *Journal of Pharmaceutical Technology & Drug Research*. DOI: 10.7243/2050-120X-1-7.
74. Farcasanu, I. C., Oprea, E. (2006). Ethanol extracts of *Salvia officinalis* exhibit antifungal properties against *Saccharomyces cerevisiae* cells. *Analele Universităţii din Bucureşti*, 1, 51-55.
75. Rus, C. F., Pop, G., Alexa, E., Şumalan, R. M., Copolovici, D. M. (2015). Antifungal activity and chemical composition of *salvia officinalis* L. Essential oil. *Research Journal of Agricultural Science*, 47 (2), 186-193.
76. Dagostin, S., Formolo, T., Giovannini, O., Pertot, I., Schmitt, A. (2010). *Salvia officinalis* Extract Can Protect Grapevine Against *Plasmopara viticola*. *Plant Dis.*, 94 (5), 575–580.
77. Alizadeh-Salteh, S., Arzani, K., Omidbeigi, R., Safaie, N. (2010). Essential Oils Inhibit Mycelial Growth of *Rhizopus stolonifera*. *Europ.J.Hort.Sci.*, 75 (6), 278–282.
78. Groza, R. A., Carmen Emilia Pula, C. E. (2015). The Fungistatic Effect of Plant Extracts Against *Monilinia fructigena* (Aderhold Et Ruhl) Honey Ex Whetzel as Causal Agent of Brown Rot. *Bulletin USAMV series Agriculture*, 72, 289-290. DOI: 10.15835/buasvmcn-agr:11191.
79. Mengiste, B., Yesufn, J. M., Getachew, B. (2014). In-vitro antibacterial activity and phytochemical analysis of leaf extract of *verbena officinalis*. *IJP*, 1 (12).
80. Rehecho, S., Hidalgo, O., Mikel García-Iñiguez de Cirano, Navarro, S., Astiasarán, I., Ansoarena, D., Cavero, R. Y., Calvo, M. I. (2011). Chemical composition, mineral content and antioxidant activity of *Verbena officinalis* L. *LWT - Food Science and Technology*, 44 (4), 875-882. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.11.035.
81. Camele, I., Altieri, L., Laura De Martino, Vincenzo De Feo, Mancini E., Rana, G. L. (2012). In Vitro Control of Post-Harvest Fruit Rot Fungi by Some Plant Essential Oil Components Ippolito. *Int J Mol Sci.*, 13(2), 2290–2300. DOI: 10.3390/ijms13022290.
82. Casanova, L. E., García-Mina, J. M., Calvo, V. I. (2008). Antioxidant and Antifungal Activity of *Verbena officinalis* L. *Plant Foods Hum Nutr.*, 63, 93–97. DOI: 10.1007/s11130-008-0073-0.

UDC 664.853:634.21:615.281.9

Antonina Dubinina, Tatiana Letuta, Vira Novikova

**STORAGE OF APRICOTS USING OF MEDICINAL PLANT EXTRACTS**

**Relevance of the research topic.** Apricot is characterized by a high rate of respiration and metabolism, and the highest sensitivity to ethylene among all the stone fruits - this causes an extremely short shelf life of the fruit. Previously, insufficient attention was paid to extending the shelf life of apricot as a separate fruit, so the best-known technologies were most commonly used for its storage: rapid freezing, controlled atmosphere and storage in special containers.

**Formulation of the problem.** However, such technologies do not imply prevention or spread of major fungal infections of apricots.

**Analysis of recent research and publications.** The repeated use of some systemic fungicides in agricultural farms has led to the emergence of fungicide-resistant pathogens. Some fungicides, especially phthalimides, cause chemical injury to the apricot epidermis. As the use of fungicides in apricot harvesting is necessary but potentially harmful, the research concerning the development of natural, effective and non-toxic apricot and consumer fungicides were initiated in European countries. For many years, apricot fruit storage has been a priority technology for freezing, adjustable atmosphere, storage in special containers. However, modern storage technologies do not involve the destruction or inhibition of fungal infections of the fruit.

**Setting objectives.** The purpose of the article is to analyze the literature on the existing apricot storage technologies and the use of medical raw materials as a component that inhibits major fungal infections to prolong fresh fruit storage.

**Presentation of main material.** To prolong the shelf life, we suggested to use protective agent with antibacterial properties against the main fungal infections of apricot - fungi of *Monilinia* genus (*Monilinia laxa*, *Monilinia fructicola*) and *Rhizopus stolonifer*. As an important feature of the safety of substances that come into contact with food is minimal toxicity and high antibacterial properties. Water and water-alcohol-glycerol extracts of vegetable raw materials - lemon balm and sage leaves, verbena grass are recommended to be used in the development of new technology.

**Conclusions.** Based on the analysis of modern domestic and foreign literature, we conclude that use of such extracts can be a new effective antibacterial preparation for the storage of apricots in a fresh form.

**Keywords:** apricot; bacteria; fungi; storage; specific microflora; fungicidal action; antibacterial properties.

Table: 1. References: 82.

**Дубініна Антоніна Анатоліївна** – доктор технічних наук, професор кафедри товарознавства та експертизи товарів, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Dubinina Antonina** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Commodity Research and Expertise of Goods, Kharkiv State University of Nutrition and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** tovaroved206@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3132-1918>

**Летуґа Тетяна Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи товарів, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Letuta Tatiana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Commodity Research and Expertise of Goods, Kharkiv State University of Nutrition and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0110-2047>

**Новікова Віра Валеріївна** – аспірант, асистент кафедри товарознавства та експертизи товарів, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Novikova Vira** – PhD student, Assistant of Department of Commodity Research and Expertise of Goods, Kharkiv State University of Nutrition and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** novikova\_vera@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3153-2619>



Viktoriia Plavan, Olena Ishchenko, Ilya Resnytskyi, Iryna Liashok, Daria Kuchynska

## MODIFIED POLYSACCHARIDES APPLICATION FOR ANTISEPTIC LEATHER PROCESSING

**Urgency of the research.** The leather is very sensitive to microbial degradation during processing, storage, transportation and use. Therefore, it is important to search for preparations and methods of leather treatment, providing specific fungicidal properties, depending on the purpose.

**Target setting.** To establish the possibility of using a composition based on modified polysaccharides with the addition of PVA and Quaternary ammonium salts for leather treatment to give fungicidal properties.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent open access publications have been reviewed regarding polymeric materials, antiseptic and fungicidal preparations used to obtain of insole leather with special properties.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The principle of action of many fungicidal or bactericidal products when used together has not been established. In particular, in the case of the simultaneous use of modified polysaccharides and quaternary ammonium salts for antiseptic treatment of the leather.

**The research objective.** The purpose of the work is to research antiseptic properties of the coating based on modified polysaccharides with the addition of quaternary ammonium salts (QASc) for insole leather.

**The statement of basic materials.** It is established that the polymer composition based on modified starch and polyvinyl alcohol with the addition of a quarter of ammonium salts gives the leather antiseptic properties, this is proved by the delay of growth of microorganisms by 3-4 mm from the edge of the sample. The relative air permeability of the leather is reduced by almost half (from  $1.18 \cdot 10^3$  to  $0.54 \cdot 10^3 \text{ cm}^3 / \text{cm}^2 \cdot \text{h}$ ), the leather porosity is also reduced by 5-10 % and the stiffness is increased by 40 %.

**Conclusions.** As a result of the conducted researches it is established that although treatment of leather surface by a solution CMS: PVA and QASc reduction of the tensile strength of leather but in its physical and mechanical properties the treated leather meets the requirements for the lining, has antiseptic properties and can be used for the manufacture of insoles.

**Keywords:** modified polysaccharides; antiseptic treatment; leather; quaternary ammonium salt.

Table: 2. References: 18.

**Introduction.** During the operation of leather shoes, its internal parts (insole and lining) are subject to a complex of mechanical loads with simultaneous action of sweat, heat, moisture and microorganisms [1]. One of the effective methods of increasing the resistance of the leather to microbiological damage is the treatment of fungicidal and bactericidal preparations. There is a method of obtaining leather for shoes [2], which involves the processing of semi-finished wet-blue such a composition containing bactericidal and fungicidal agent. Triclosan, biguanidine, isothiazolinone, Quaternary ammonium compounds can be used as the bactericidal preparation. As a fungicide, propiconazole, thiabendazole, tebuconazole, zinc compounds can be used. Due to this treatment, the antimicrobial properties of the leather are preserved after at least 5 washing cycles. The use of 2- (thiocyanomethyl-thio) benzothiazole (TCMTB) as a fungicidal drug is proposed for the treatment of leather intended for the manufacture of army shoes [3].

The essential oils of thyme can be used as a preservative in a mixture with a synthetic biocide. In this case the amount of the necessary synthetic biocide can be reduced from 0.2 % to 0.05% of the wet-blue mass. The use of such mixture could solve two problems at once: firstly, by decreasing the amount of synthetic preservative needed for leather treatment and thus reducing the irritant effect on consumers, and secondly, by decreasing the amount of essential oil, which is fairly expensive [4].

**Target setting.** Microbiological destruction of the leather is accompanied by the occurrence of cracks, folds, grooves, shrinkage of the leather area and increase its thickness, reducing the strength of whole leather and its surface, increasing the stiffness and brittleness, darkening the color and may cause mycoses for some people. In order to prevent the appearance and development of various types of microorganisms, to improve leather resistance to biological attack and to prevent the deterioration of the physical-mechanical and chemical properties of leather, it is treated with certain biocides. Antimicrobial agents (biocides), currently used in the leather industry, are generally harmful to human health and the environment, and their use has been or shall be restricted or even banned [5]. Therefore, it is relevant to search for preparations and methods of leather treatment to give it specific fungicidal properties, depending on the purpose.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Polymers with antimicrobial properties are a valuable alternative to conventional antibiotics and are actively used for coatings, food packaging, personal care products and biomedical applications. A natural polymer – casein and ZnO nanoparticles are known to be used for the production of antimicrobial films that improve mechanical properties, water resistance and antibacterial activity against *S. Aureus* and *E. Coli* [6].

Antibacterial [7], antifungal [8] and antiviral properties [9] of chitin and its derivatives make them attractive for wide application, from nutrition and cosmetics to biomedicine and environmental protection. Chitin and its derivative - chitosan belong to the class of polysaccharides, the typical representative of which is cellulose. Chitin ranks second after cellulose in nature. Although its use is limited due to the specificity of obtaining chitin. The antibacterial properties of chitosan can be useful in the production of durable paper intended for the restoration of historical and cultural heritage [10]. There is a method of treatment with chitosan to impart antibacterial properties to cotton fabrics [11]. However, it should be noted that the antimicrobial properties of chitosan appear only in high enough concentrations, which when applied to the surface of the tissues may impair their breathability.

The interest in starch as an antimicrobial agent carrier is accrued from its film-forming properties and high molecular weight. Although, the poor solubility of starch in cold water limits its potential applications. Thus, starch modification is desirable not only to mitigate these challenges but also to bring about other functional properties [12; 13].

Durable antimicrobial wool fabrics were prepared by using a simple chemical finishing process. Carboxylate groups in wool protein were employed to form ionic interactions with cationic antimicrobial agents, such as cetylpyridinium chloride (CPC) and other quaternary ammonium salts, under the isoelectric point of wool protein, and such interactions were proven effective. The uptakes of the agents were dependent on their chemical structures, pH values of treatment solutions, concentration of the agents, and treatment temperature. The ionic interactions between the agents and the protein could survive repeated washing, with CPC showing the best durability among three tested quaternary ammonium salts [14; 15].

Quaternary ammonium compounds (QACs) are widely used in disinfection of water, surfaces and instruments as well as in textile, leather and food industries because of their relatively low toxicity, broad antimicrobial spectrum, non-volatility and chemical stability [16; 17].

**Uninvestigated parts of general issues defining.** The mechanism of the simultaneous action of sweat and microorganisms on the leather is not clear. So is the principle of action of many fungicidal or bactericidal preparations when used jointly. In particular, in the case of the simultaneous use of modified polysaccharides and quaternary ammonium salts for antiseptic treatment of the leather.

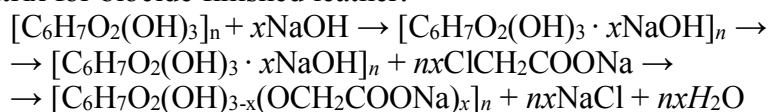
In particular, according to the authors [18], the antifungal and antimicrobial properties of chitosan are due to its polycationic nature, whereby it can bind to negatively charged macromolecule residues on the surface of bacterial cells and thus slow their growth. Moreover, the antimicrobial properties of chitosan depend on many factors, in particular the type of chitosan, its molecular weight, pH and solution concentration.

**The research objective.** The purpose of the work is to research antiseptic properties of the coating based on modified polysaccharides with the addition of quaternary ammonium salts (QASc) for insole leather. The influence of coating composition content based on polyvinyl alcohol (PVA), modified starch (CMS) and QASc as antimicrobial additives on antiseptic properties of insole leather was investigated. To optimize parameters for obtaining of antiseptic coating composition and its application, its rheological properties, permeability, density and porosity of the treated leather were determined and mechanical tests were performed.

**The statement of basic materials.** The study was conducted on samples of semi-finished leather, obtained from pig leathers. The thickness of the test samples was 1.5-1.6 mm. Beamhouse and tanning processes and operations were performed by conventional methodic for production of chromium leathers at JSC "Chinbar" (Kyiv).

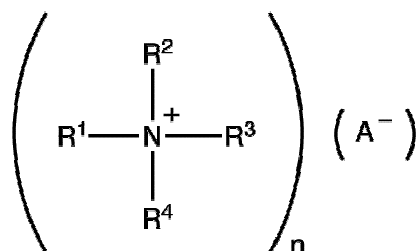
TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Carboxymethylated starch (CMS) (TU U 6- 04872 671.061-96) was used as a polymeric matrix for biocide finished leather:



PVA – Polyvinyl alcohol (grade 16/1, Mass portion of acetate groups not more than 0.9-1.7 %).

Quaternary ammonium salt(QASc) –biocide  $[R(CH_3)_2NCH_2C_6H_5]^+Cl^-$  (CAS №: 21954-74-5). A quaternary ammonium salt is an ionic compound that has the following general structural formula.



n = positive whole number R<sup>1</sup>, R<sup>2</sup>, R<sup>3</sup>, and R<sup>4</sup> could be hydrogen atoms, alkyl groups, aryl groups, or any combination thereof. A<sup>-</sup> could be any anion present in salt.

The coating composition was a 3 % solution of CMS:PVA in a ratio of 1:1 with the addition of 2-10 % of QASc. The density of the resulting solution is 1.04 - 1.12 g/cm<sup>3</sup>. The composition was applied to the surface of the insole leather made from pig raw material by a method of sawing in two passes with a consumption of coating material of 125 g/m<sup>2</sup>. After that, the treated leather was dried at a temperature of 30-35 °C for 40 minutes.

Strength indexes of leather (tensile strength, relative elongation) were determined using conventional methods (A2. Standard ISO 3376:2011. Leather – Physical and mechanical tests – Determination of tensile strength and percentage extension).

For evaluation of the obtained materials activity, were used reference strains of microorganisms regulated by the WHO for determination of the preparations antimicrobial activity: Staphylococcus aureus ATCC 25923, Escherichia coli ATCC 25922, Bacillus subtilis ATCC 6633. Results were processed in 2-6 days for bacteria and in 5-7 days for fungal (Table 1).

Table 1

Results antimicrobial treatment of leather samples by CMS:PVA and QASc

Sample	Preparation	Concentration, g/l	<i>Escherichia coli</i>		<i>Bacillus subtilis</i>		<i>Staphylococcus aureus</i>		<i>Fusarium oxysporum</i>
			BC <sup>4</sup>	BS	BC	BS	BC	BS	BC
1 <sup>1</sup>	-	-	0	0	0	0	0	0	0
1 <sup>2</sup>	CMS:PVA	30	0	1	0	0	1	0	1
1 <sup>3</sup>	QASc	2	0	1	1	0	1	0	1
2	CMS:PVA / QASc	30 / 2	0	4	0	0	0	0	0
3	CMS:PVA / QASc	30 / 5	0	4	0	0	3	0	1
4	CMS:PVA / QASc	30 / 7	0	4	2	0	1	0	1
5	CMS:PVA / QASc	30 / 10	0	4	3	0	1	0	1

<sup>1</sup> Antimicrobial leather surface treatment was not performed.

<sup>2</sup> Leather surface treatment was performed without the addition of a bactericidal agent.

<sup>3</sup> Leather surface treatment was performed with an aqueous solution of the bactericidal preparation without PVA and starch.

BC is a bactericidal activity; BS is a bakteriostatic activity; "0" – the activity is absent.

Qualitative indexes of leather (tensile strength, relative elongation) were established using conventional methods (Table 2). Samples of leather are almost indistinguishable for the content of QASc.

Table 2

*Physical-mechanical properties of leather*

Sample	QASc, %	Tensile strength, N/mm <sup>2</sup>	Strain when grain layer breaks, N/mm <sup>2</sup>	Relative elongation, %	Air permeability, cm <sup>3</sup> /cm <sup>2</sup> ·hrs	Stiffness, N	Porosity, %
1 <sup>1</sup>	0	13,8 <sup>2</sup>	9,7	74,0	1180	2,2	61,2
2	2	12,4	9,6	114,0	790	2,9	56,8
3	5	12,6	9,3	102,0	688	3,0	58,2
4	7	12,7	9,6	100,0	680	3,0	57,4
5	10	12,5	9,6	94,0	540	3,1	55,3

<sup>1</sup> Antimicrobial leather surface treatment was not performed.

<sup>2</sup> According to GOST 940-81. Leather for shoe lining. TU, the tensile strength of the tensile specimens shall be not less than 12 MPa.

As can be seen from the above data, treating the surface of the leather with a solution of CMS: PVA and QAS causes a decrease in the tensile strength of the leather, although within the requirements of the regulatory technical documentation for the lining. The leather's breathability is also diminished due to a decrease in its porosity, which increases the trend in QAS consumption by increasing this trend.

The bactericidal and bacteriostatic action of the substances that have treated the leather surface has been considered.

A small number of small colonies of white and yellow bacteria of homogeneous structure of regular and irregular shape were observed on and around the untreated samples. When using QASc, a small amount of bacteria was observed at a distance of 3-4 mm from the edges of the specimens. Samples of leather treated with QASc 7 g/l already have antimicrobial activity. No specimen had a sterile (bactericidal action) zone for *Escherichia coli*. In this type of bacteria, QASc treatment acted bacteriostatically, ie, delayed the growth of the culture.

**Conclusions.** It is found that leather treatment with a composition based on modified polysaccharides with the addition of quaternary ammonium salt has antiseptic properties, indicating that the growth of microorganisms is delayed 3-4 mm from the edge of the sample; the relative permeability decreases from  $1.18 \cdot 10^3$  to  $0.54 \cdot 10^3$  cm<sup>3</sup> / cm<sup>2</sup> · h, the porosity decreases from 61.2 % to 55.3 %, the stiffness increases from 2.2 N to 3.1 N.

As a result of the conducted researches it is established that although the treatment of the surface of the leather with CMS: PVA and QASc solution and causes a decrease in the tensile strength of the leather, however, in terms of its physical and mechanical properties, the treated leather meets the requirements of the normative-technical documentation for the lining and can be used for the manufacture of soles.

**References**

1. Plavan, V. P., Danylkovych, A. H., Tsymbalenko, O. P. (2006). Doslidzhennia potostiikosti shkir riznykh metodiv dublennia [Investigation of skin persistence of different tanning methods]. *Visnyk KhNU – Bulletin of KhNU*, 5, 82-87 [in Ukrainian].
2. Payne Stephen A. (2002). Patent WO/2004/011682 USA, MPK C14C 9/00. Durable antimicrobial leather. № PCT/US2003/023568.
3. Dean, T. Didato, Stephen, S. Yanek (1999). Fungicides in military leather. *Journal of the American Leather Chemists Association*, 94 (7), 245.
4. Širvaitytė, J, Šiugždaitė, J, Valeika, V., Dambrauskiene, E. (2012). Application of essential oils of thyme as a natural preservative in leather tanning. *Proceedings of the Estonian Academy of Sciences*, 61(3), 220-227.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Annamalai, T., Rajkumar, G. A., Arunasri, N., and Perumal, P. T., (1997) Synthesis and fungicidal evaluation of compounds analogous to 1,3-oxazine. *Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists*, (81), 201–205.
6. Wang Yanan, Ma Jianzhong, Xu Qunna. *Fabrication of antibacterial casein-based ZnO nano-composite for leather finishes through in-situ route*, XXXIV IULTCS Congress “Science and Technology for Sustainability of Leather” 5-8 February 2017, Chennai, India, p. 49.
7. Younsook Shin, Dong Li You, Kyunghue Min (1999). Antimicrobial finishing of polypropylene nonwoven fabric by treatment with chitosan oligomer. *Journal of Appl. Polym. Sci.*, 1 (74), 2911-2916.
8. Kharkevych, E. S., Moskalenko, T. M., Sakharova, T. H., Fedchenko, V. A., Zhdanova, N. N. (2002). Gribostoikost khitina i khitozana: kriterii ee otsenki [Mushroom resistance of chitin and chitosan: criteria for its assessment]. *Mikologiya i fitopatologiya – Mycology and phytopathology*, 36 (1), 48-54 [in Russian].
9. Chyrkov, S. N. (2002). Protivovirusnaia aktivnost khitozana [Antiviral activity of chitosan]. *Prykladnaia biokhimiia i mikrobiologiya – Applied Biochemistry and Microbiology*, 38 (1), 5-13.
10. Zitao Zhang, Liang Chen, Jinmin Ji, Yanliu Huang, Donghui Chen (2003). Antibacterial properties of cotton fabric treated with chitosan. *Textile Research Journal*, 73 (12), 1103-1106.
11. Belenkaia, N. H., Alekseeva, T. V., Plisko, E. A., Nudha, L. A. (1978). Primenenie khitozana dlia povysheniia prochnosti i dolgovechnosti bumagi i dokumentov [The use of chitosan to increase the strength and durability of paper and documents]. *Restavratsiia, issledovanie i khranenie muzeinykh i khudozhestvennykh tsennostei – Restoration, research and storage of museum and art values*, 8, 42-44.
12. Ishchenko, O., Sumska, O., Plavan, V., Liashok, I. and Resnytskyi, I. (2018). The use of the modified starch in biologically active system. *Vlákna a textil*, 3, 24-30.
13. Ishchenko, O. V., Isak, N. V., Bessarabov, V. I., Plavan, V. P., Resnytskyi, I. V. (2017). Vykorystannia vodorozchynnykh polimeriv dlia otrymannia plivok medychnoho pryznachennia [The use of water-soluble polymers for the production of medical films]. *Lehka promyslovist – Light industry*, 1, 30-33.
14. Ping Zhu, Gang Sun (2004). Antimicrobial finishing of wool fabrics using quaternary ammonium salts. *Journal of Applied Polymer Science*, 93(3), 1037–1041, DOI: 10.1002/app.20563.
15. Gerald McDonnell, A. Denver Russell (Jan. 1999). Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clin Microbiol Rev.*, 12(1), 147–179.
16. Rajkowska, K., Koziróg, A., Otlewska, A., Piotrowska, M., Nowicka-Krawczyk, P., Brycki, B., Kunicka-Styczyńska, A., Gutarowska, B. (2016). Quaternary ammonium biocides as antimicrobial agents protecting historical wood and brick. *Acta Biochimica Polonica*, 63(1), 153-159 DOI: 10.18388/abp.2015\_1134.
17. Gilbert, P. and Moore, L. E. (2005). Cationic antiseptics: diversity of action under a common epithet. *Journal of Applied Microbiology*, 99 (4), 703-715.
18. Joshi, M., Wased, S. Ali, Purwar, R., Rajendran, S. (2009). Eco-friendly antimicrobial finishing of textiles using bioactive agents based on natural products. *Indian Journal of Fibre and Textile*, 34 (9), 295-304.

УДК 66.014

Вікторія Плаван, Олена Іщенко, Ілля Ресницький, Ірина Ляшок, Дар'я Кучинська

**ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ПОЛІСАХАРИДІВ  
ДЛЯ АНТИСЕПТИЧНОЇ ОБРОБКИ ШКІРИ**

**Актуальність теми дослідження.** Шкіра дуже чутлива до деградації мікроорганізмами під час обробки, зберігання, транспортування та використання. Тому актуальним залишається пошук препаратів та методів обробки шкіри, надання специфічних фунгіцидних властивостей залежно від призначення.

**Постановка проблеми.** Встановити можливості використання композицій на основі модифікованих полісахаридів із додаванням ПВС та четвертинно амонієвих солей для обробки шкіри з метою надання фунгіцидних властивостей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі стосовно полімерних матеріалів, антисептичних та фунгіцидних препаратів, які використовують для одержання спеціальних властивостей.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Принцип дії багатьох фунгіцидних чи бактерицидних препаратів у разі їх спільного застосування не з'ясований. Зокрема, у разі одночасного використання модифікованих полісахаридів і четвертинних амонієвих солей для антисептичної обробки шкіри.

**Постановка завдання.** Дослідити вплив обробки шкіри композицією на основі модифікованого полісахариду на фізико-механічні та фунгіцидні властивості матеріалу.

**Виклад основного матеріалу.** Встановлено, що полімерна композиція на основі модифікованого крохмалю та полівінілового спирту з додаванням четвертино амонієвих солей надає шкірі антисептичних властивостей, це доведено затримкою росту мікроорганізмів на 3-4 мм від краю зразка. Відносна повітропроникність шкіри зменшується майже вдвічі (з  $1,18 \cdot 10^3$  до  $0,54 \cdot 10^3$  см<sup>3</sup>/см<sup>2</sup> · год), також зменшується пористість шкіри на 5-10 % та збільшується жорсткість на 40 %.

**Висновки відповідно до статті.** В результаті проведених досліджень встановлено, що застосування модифікованих полісахаридів надає шкірі спеціальних властивостей хоча викликає зниження межі міцності шкіри при розтягуванні, однак за своїми фізико-механічними властивостями оброблена шкіра відповідає вимогам нормативно-технічної документації до підкладкових шкір і може використовуватись для виготовлення устілок.

**Ключові слова:** модифіковані полісахариди; шкіра; антисептичні властивості; четвертинно амонієві солі.

Табл.: 2. Бібл.: 18.

**Plavan Viktoriia** – Doctor of Technical Science, Professor, Head of Department of Applied Ecology, Technology of Polymers and Chemical Fibers, Kyiv National University of Technologies and Design (2 Nemyrovycha-Danchenko Str., 01011 Kyiv, Ukraine).

**Плаван Вікторія Петрівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри ПЕТПХВ, Київський національний університет технологій та дизайну (вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна).

**E-mail:** plavan.vp@knuud.edu.ua

**Ishchenko Olena** – PhD, Associate professor, Associate professor, Department of AETPCF, Kyiv National University of Technologies and Design (2 Nemyrovycha-Danchenko Str., 01011 Kyiv, Ukraine).

**Іщенко Олена Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ПЕТПХВ Київський національний університет технологій та дизайну (вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна).

**E-mail:** e.ishchenko5@gmail.com

**Resnytskyi Ilya** – PhD student, assistant of Department of IP, Kyiv National University of Technologies and Design (2 Nemyrovycha-Danchenko Str., 01011 Kyiv, Ukraine).

**Ресницький Ілля Вячеславович** – аспірант, асистент кафедри ПФ, Київський національний університет технологій та дизайну (вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна).

**E-mail:** ilya9res@gmail.com

**Liashok Iryna** – PhD, Associate professor, Associate professor, Department of AETPCF, Kyiv National University of Technologies and Design (2 Nemyrovycha-Danchenko Str., 01011 Kyiv, Ukraine).

**Ляшок Ірина Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри ПЕТПХВ, Київський національний університет технологій та дизайну (вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна).

**E-mail:** liashok77@gmail.com

**Kuchynska Daria** – Master's student, Kyiv National University of Technologies and Design (2 Nemyrovycha-Danchenko Str., 01011 Kyiv, Ukraine).

**Кучинська Дар'я Андріївна** – магістр, Київський національний університет технологій та дизайну (вул. Немировича-Данченка, 2, м. Київ, 01011, Україна).

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

Олександр Квартенко

## ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНОВАНИХ МЕТОДІВ У ТЕХНОЛОГІЯХ ОЧИЩЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД

**Актуальність теми дослідження.** Існуючі технології є екстенсивними та не передбачають комплексного очищення підземних вод від забруднень природного та антропогенного походження.

**Постановка проблеми.** Наукове обґрунтування, дослідження та впровадження технологічного рішення, яке передбачає комплексне очищення в результаті комбінування відомих та удосконалених методів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Найбільш поширеною є технологія очищення за методом спрощеної аерації-фільтрування, яка має обмежене застосування за рядом показників ( $Fe^{2+} < 10$  мг/дм<sup>3</sup>, рН > 6,8, гідрокарбонатної лужності > 2,0 ммоль/дм<sup>3</sup>,  $H_2S < 2,0$  мг/дм<sup>3</sup>).

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка та впровадження технології, в основі якої закладено принцип синергізму комплексного використання комбінованих методів.

**Мета статті.** Розвиток науково-технічних засад у галузі комплексного очищення природних підземних вод із використанням комбінованих методів.

**Виклад основного матеріалу.** Встановлено, що при відповідній комбінаториці відомих та удосконалених методів із використанням синергетичного ефекту швидкість проходження процесів очищення багатоконпонентних систем є не на багато нижчою, ніж для однокомпонентних ( $Fe^{2+}$ ). Розроблено теоретичні засади комплексного очищення підземних вод від сполук феруму, амонійного нітрогену, фенолів, хрому(IV) з використанням методів гідродинамічної кавітації – підлучення – коагуляції – біохімічного очищення – фільтрування.

**Висновки відповідно до статті.** Для очищення слабкокислих (рН до 6,5) підземних вод з низьким лужним резервом (до 1,5 ммоль/дм<sup>3</sup>) які містять ферум-гумінові комплекси (до 10 мг/дм<sup>3</sup>), амонійний нітроген (до 2,0 мг/дм<sup>3</sup>), феноли (0,08-0,5 мг/дм<sup>3</sup>), легко-окиснювальні органічні сполуки (до 8 мг  $O_2$ /дм<sup>3</sup>), катіони  $Cr^{6+}$  (до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>) розроблено та впроваджено технологію, в основі якої закладено принцип синергізму використання відомих та удосконалених комбінованих методів.

**Ключові слова:** комплексне очищення; матриксні структури; гідродинамічна кавітація; феноли; амонійний нітроген.

Рис.: 3. Бібл.: 16.

**Актуальність теми дослідження.** Наявні технології очищення підземних вод не передбачають комплексного очищення від забруднень як природного, так і антропогенного походження та ґрунтуються здебільшого на принципі поетапного вилучення лише окремих забруднюючих інгредієнтів. Такий підхід є екстенсивним та призводить до збільшення кількості та об'єму технологічних споруд.

**Постановка проблеми.** Проведені моніторингові дослідження параметрів якості підземних вод [1] вказали на наявність у них забруднень як природного (завислі речовини, кольоровість, агресивний карбон(IV) оксид, легкоокиснювані органічні речовини, комплексні органічні речовини, гумінові кислоти, сполуки  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ), так і антропогенного характеру (іони  $Cr^{6+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $NH_4^+$ ,  $NO_2^-$ ,  $NO_3^-$ , феноли, сполуки фосфору, поверхнево активні речовини). Більшість існуючих в Україні станцій очищення підземних вод було введено в експлуатацію в середині 70-х років ХХ століття за технологією фільтрування зі спрощеною аерацією, яка не передбачала комплексне видалення наведених вище забруднень. Крім того, існуючі технології є екстенсивними, енергоємними, зі значними капітальними та експлуатаційними витратами. Тому наукове обґрунтування, дослідження та впровадження технологічного рішення, яке передбачає комплексне очищення підземних вод у результаті комбінування як відомих так і удосконалених фізичних, біологічних та фізико-хімічних методів, є актуальним.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Одними з найбільш поширених забруднювачів природних вод є сполуки феруму, для очищення від якого використовують фізико-хімічні методи глибокої та спрощеної аерації з наступним фільтруванням [2; 3]. Метод спрощеної аерації – фільтрування має обмеження за використанням щодо вмісту йонів  $Fe^{2+}$  до 10 мг/дм<sup>3</sup>, гідрокарбонатної лужності більше ніж 2,0 ммоль/дм<sup>3</sup>, величини рН > 6,8, вмісту сірководню до 2,0 мг/дм<sup>3</sup>. Крім того, за наявності у воді розчиненого карбон(IV) оксиду, постає необхідність у його вилученні із застосуванням компресорів або повітродувок.

У відомих реагентних схемах застосовується метод глибокої аерації з подальшим використанням таких реагентів, як хлор, озон, калій перманганат, розчинів вапна, коа-

гулянтів, флокулянтів із наступним очищенням води на тонкошарових відстійниках, фільтрах з інертним завантаженням або сорбційних фільтрах. Використання вказаних реагентів призводить до збільшення вартості очищеної води, можливості утворення хлорорганічних сполук, продуктів озонолізу, а також необхідності використання додаткового технологічного обладнання, такого, як градирні, контактні резервуари, озонатори. Як альтернативний окисник для деструкції важкоокиснювальних органічних комплексів, перспективним є використання високоактивних  $\text{OH}^\bullet$ -радикалів, які утворюються у воді при використанні методу гідродинамічної кавітації (ГДК) [4]. За декілька останніх десятиріч у багатьох країнах світу велику вагу приділяють біологічному методу видалення з підземних вод розчинених сполук Fe(II) та Mn(II) [5; 6]. Але межі ефективного і раціонального використання цього методу для очищення багатокомпонентних підземних вод у поєднанні з фізико-хімічними методами, та можливість вилучення йонів важких металів ( $\text{Cr}^{6+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ), фтору, ПАР не було досліджено.

**Видалення амонійних сполук нітрогену.** У підземних водах вміст амонійного нітрогену супроводжується присутністю  $\text{H}_2\text{S}$ ;  $\text{CO}_2$ ; Mn; Fe. При pH 6–8 у воді головним чином знаходиться йон  $\text{NH}_4^+$ . Аналіз літературних даних [3; 7-9] дозволив зробити висновок щодо двох напрямів розвитку водоочисних методів: фізико-хімічних – хлорування, аерація в лужному середовищі, зворотний осмос, сорбція, іонний обмін на кліноптилітових фільтрах, електроліз; і біологічних – біологічна нітрифікація. При застосуванні методу хлорування (при pH 6,5–7,5; питома витрата хлору 6–15 мг/дм<sup>3</sup>) одночасно відбувається окиснення заліза та мангану, з подальшим видаленням зависі на освітлювальних фільтрах. У випадку значного вмісту органічних речовин, фенолів – утворюються хлорорганічні сполуки, що призводить до необхідності проведення дехлорування води, яка пройшла очищення. При озонуванні ( $\text{O}_3/\text{NH}_4^+=14/1$ ) в присутності йонів Fe(II) та Mn(II), а також розчинених органічних сполук, відбувається їх першочергове окиснення  $\text{O}_3$ . При використанні методу біофільтрації (pH 7,5 – 8,5; витрата кисню 4,6 мг $\text{O}_2$ /мг) видаленні аміаку відбувається із добре аерованих вод на піщаних фільтрах. Використання технології видалення аміаку на цеолітах обмежено тим, що після вичерпання обмінної ємкості його необхідно регенерувати. Регенерація складна та енергоємна. До складу регенераційного блока входять: градирні для віддувки та нейтралізації аміаку, баки реагентів, насоси.

**Методи видалення фенолів** засновані на окисній здатності озону (в лужному середовищі 1,02 г  $\text{O}_3$  : на 1г  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ ); гідроген пероксиду (в кислому середовищі pH 4 в присутності Fe(II) та при мольному співвідношенні 1:3); калій перманганату (мольне співвідношення 1:9,3); хлору (утворює токсичні продукти в ході хімічної реакції деструкції фенолів); гідроксильні радикали (реакції деструкції можуть йти при значеннях pH вихідної води) [3, 7, 10].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проведений аналіз сучасного стану технологій очищення багатокомпонентних слабокислих підземних вод із низьким лужним резервом свідчить про відсутність даних щодо їх комплексного очищення в межах однієї технологічної схеми від йонів важких металів, амонійного нітрогену, розчиненої органіки, комплексно-органічних сполук, фенолів, фтору, ПАР із використанням комбінаторики фізичних, біохімічних та фізико-хімічних методів.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розвиток науково-технічних засад у галузі комплексного очищення природних підземних вод з використанням комплексу фізичних, біохімічних та фізико-хімічних методів.

**Виклад основного матеріалу.** У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що при відповідній комбінаториці як відомих так і удосконалених методів із використанням синергетичного ефекту швидкість проходження процесів комплексного очищення багатокомпонентних систем буде не на багато нижчою, ніж для однокомпонентних систем ( $\text{Fe}^{2+}$ ). У слабокислих (pH 5,8–6,5) підземних водах із низь-



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ким лужним резервом (до 1,5 ммоль/дм<sup>3</sup>) в присутності сполук амонійного нітрогену (до 2,0 мг/дм<sup>3</sup>), фенолів (0,08-0,5 мг/дм<sup>3</sup>), комплексних сполук Fe(II) – ГК (до 10,0 мг/дм<sup>3</sup>), катіонів Cr<sup>6+</sup> (до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>), фтору (до 1,0 мг/дм<sup>3</sup>) рекомендовано застосовувати технологічну схему з використанням гідродинамічного кавітатору – контактної камери – підключення води з наступною обробкою розчином коагулянту – фільтруванням.

На першому етапі відбувається процес деструкції та окиснення амонійного нітрогену та фенолів за наступними механізмами:



При проходженні такої води через гідродинамічний кавітаційний апарат відбуваються реакції, у результаті яких згідно з даними, наведеними в [4; 11–12], утворюються інтермедіати, які є досить сильними окисниками:



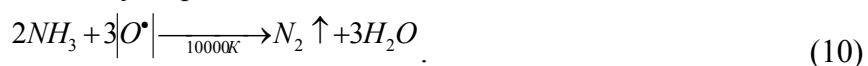
із подальшою їх рекомбінацією з утворенням молекулярних сполук [12; 13]:



Як було зазначено вище, при схопуванні кавітаційних пухірців виникає високий тиск (1013,25 МПа ≈ 10000 ат.) та температура (до 10000 К) [13]. За цих умов відбувається процес дисоціації гідроген пероксиду за радикальним механізмом:



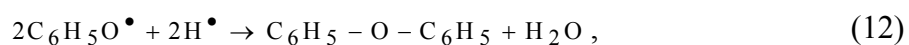
із подальшим окисненням NH<sub>3</sub> та утворенням газоподібного N<sub>2</sub>:



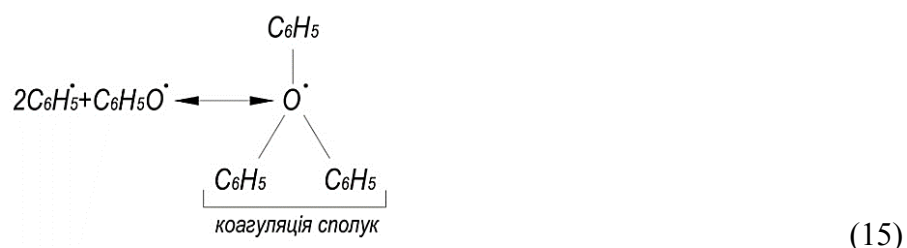
Одночасно у воді відбуваються реакції дисоціації фенолів:



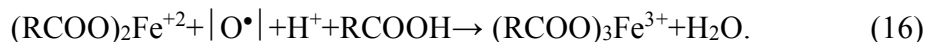
При проходженні такої води через гідродинамічний кавітатор відбувається утворення радикалів C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>O<sup>•</sup> та H<sup>•</sup> [10]. Під дією локальних високих температур та тиску відбувається рекомбінація радикалів з утворенням ряду сполук:



У контактній колоні проводиться початкове окиснення фенолів з їх розкладенням до проміжних складових [10]. Введення у воду розчину кальцинованої соди дозволяє призупиняти процес окиснення на стадії утворення інтермедіатів із наступною коагуляцією утворених сполук алюміній гідроксохлоридом.



У присутності у воді залізогоумінових комплексів відбувається їх руйнування та окиснення зв'язаного з ними  $Fe^{2+}$  :



У результаті утворювалася колоїдна система, яка легко видалялася при застосуванні коагулянтів на фільтрах.

Введення додаткового джерела неорганічного вуглецю та підвищення величини гідрокарбонатної лужності впливає на інтенсифікацію процесу біологічного очищення води від сполук феруму та наступним утворенням матричних структур, які у своїй структурі мають групи аніонів  $PO_4^{3-}$ ,  $COO^-$ ,  $OH^-$  [14] та є природними сорбентами для катіонів  $Cr^{6+}$ ,  $Al^{3+}$  (рис. 1) [15]. Введення розчину кальцинованої соди дозволило підвищити ефективність видалення сполук феруму та розчинених органічних речовин відповідно до 94 та 44–50 % (рис. 2).

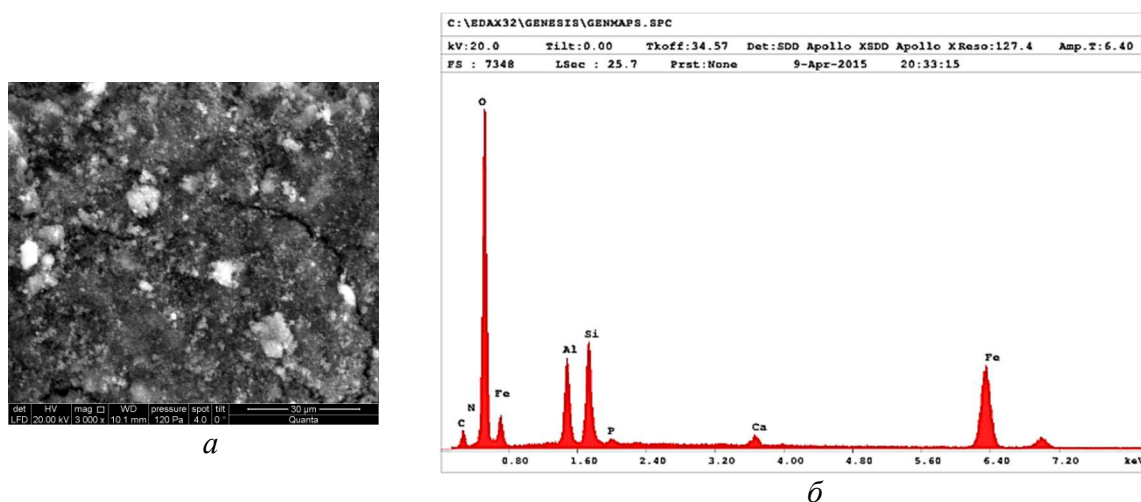
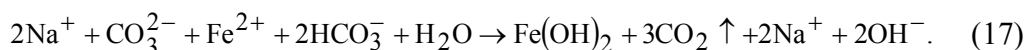


Рис. 1. Електронне зображення (а) та рентгеноспектральний аналіз (б) поверхні ділянки гранули фільтруючого завантаження

У результаті реакції у воду виділявся  $CO_2$ , який використовувався мікроорганізмами роду *Gallionella* як додаткове джерело неорганічного вуглецю для побудови клітинної біомаси [16].

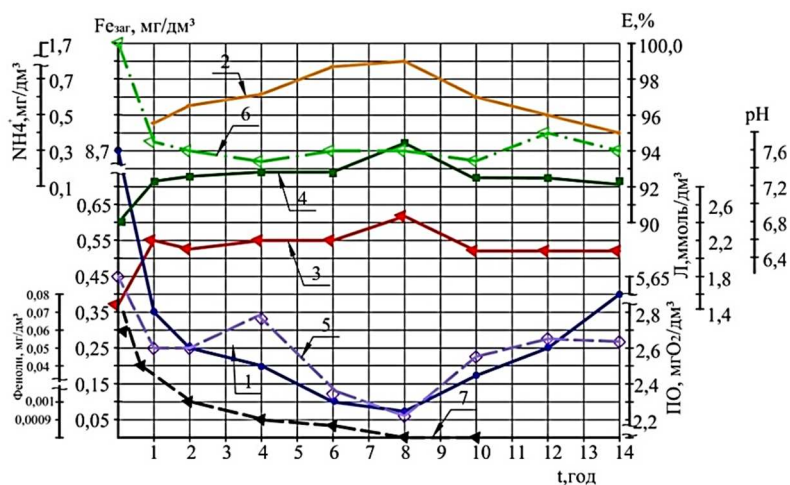
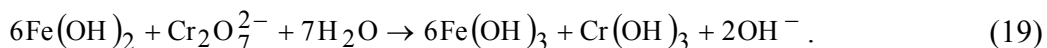
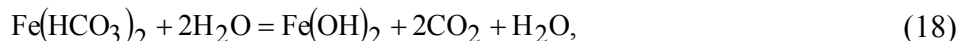


Рис. 2. Зміна концентрації феруму (1), величин гідрокарбонатної лужності (3), рН (4), перманганатної окисності (5), амонійного нітрогену (6), фенолів (7); ефективності видалення феруму (2) протягом фільтроциклу (тк, год)

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Очищення води від катіонів  $\text{Cr}^{6+}$  засновано на хімічному відновленні біхромат та хромат-іонів катіонами  $\text{Fe}^{2+}$ , які знаходяться у воді, а також  $\text{Fe}(\text{OH})_2$ , який утворюється у воді в результаті гідролізу  $\text{Fe}_2\text{CO}_3$  у слабкислому або нейтральному середовищі:



На відновлення 1 г хрому(VI) необхідно 3,22 г ферум(II). Виведення продуктів реакції у вигляді  $\text{Cr}(\text{OH})_3$  за межі зони реакції відбувається в результаті підлучення та коагулювання з наступними розділом фаз у товщі фільтруючого завантаження.

Крім того, у межах рН 5,0-6,5 на поверхні матриксних структур може видалятися фтор із розрахунку: 1 мг F на 1 мг  $\gamma\text{-FeOOH}$ .

Видалення амонійного нітрогену в контактному фільтруючому завантаженні можливо представити декількома механізмами залежно від параметрів якості води та якісного складу мікроорганізмів у підземних водах. У нейтральних та біля нейтральних підземних водах, у присутності хемолітоавтотрофних бактерій роду *Gallionella*, можливо розглядати процес сорбції йонів  $\text{NH}_4^+$  на поверхні матриксних структур біо-мінералів, а також на клітинах самих бактерій, завдяки присутності на їхній поверхні функціональних груп:  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{COO}^-$ ,  $\text{OH}^-$ . Що нашло підтвердження в результатах проведеного нами рентгеноспектрального аналізу матриксних структур.

Блочно-модульна станція очищення підземних вод наведена на рис. 3. Результати досліджень очищення підземних вод на діючій станції (рис. 3) продуктивністю  $5 \text{ м}^3/\text{год}$  наведено на рис. 2. За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень встановлено, що включення в технологічні схеми невеликих блоків (ГДК, підлучення) у відповідній послідовності з наявними технологічними спорудами (контактної колони – фільтрів) дозволило отримати швидкості окиснення не нижче ніж для однокомпонентних систем (рис. 2). За наявності у воді важко окиснюваних органічних сполук (амонійного нітрогену, фенолів, ферум-органічних комплексів) на першому ступені водоочищення слід застосовувати метод ГДК, який дозволяє руйнувати молекулярні зв'язки в складних органічних молекулах і частково їх окиснювати, переводячи із розчиненого до колоїдного стану.

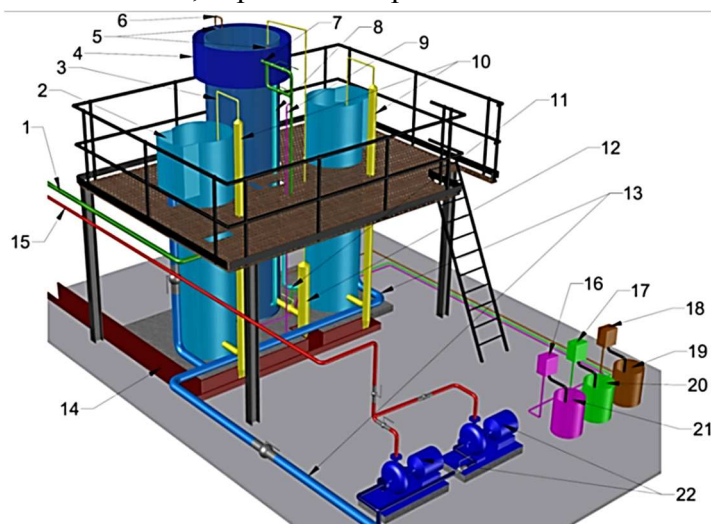


Рис. 3. Блочно-модульна станція очищення підземних вод:

- 1 – трубопровід подачі вихідної води; 2 – карман фільтру для збору та відведення фільтрату; 3 – трубка зриву вакууму; 4 – круговий перегородчастий змішувач; 5 – перегородки; 6 – патрубок подачі розчину коагулянту; 7 – кавітатор; 8 – відвід води до нижньої частини контактної колони; 9 – патрубок подачі розчину кальцинованої соди; 10, 12 – гідророботи; 11 – патрубок подачі води на фільтри; 13 – трубопровід відведення фільтрату; 14 – канал збору та відведення відпрацьованих промивних вод; 15 – трубопровід подачі води споживачам; 16, 17, 18 – насоси дозатори; 19, 20, 21 – баки розчинів коагулянту, флокулянту, кальцинованої соди

Підлучення води розчином кальцинованої соди дозою 35–45 мг/дм<sup>3</sup> із наступною обробкою розчинами коагулянту дозою 15–20 мг/дм<sup>3</sup> та неіоногенного флокулянту дозою 8–10 мг/дм<sup>3</sup> дозволяло дестабілізувати створену колоїдну систему з наступним розподілом фаз в контактному завантаженні. На наступному етапі відбувався процес доокиснення та адсорбції зазначених речовин на матриксних структурах розташованих у міжпоровому просторі.

Середні концентрації катіонів Fe<sup>2+</sup> та NH<sub>4</sub><sup>+</sup> у межах фільтроцикла становили відповідно 0,2-0,3 мг/дм<sup>3</sup> та 0,25-0,4 мг/дм<sup>3</sup>, що відповідало 96–99 та 76–85 % ефектам очищення відповідно. Величина перманганатної окисності зменшилася до 2,3-2,65 мгO<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>. Наявності сірководню та фенолів у фільтраті не було визначено. Встановлено оптимальні швидкості фільтрування 3–5 м/год. Оптимальна тривалість фільтроциклу при зазначених концентраціях забруднюючих речовин складала в середньому 12 годин.

**Висновки відповідно до статті.** Для очищення слабокислих (рН до 6,5) підземних вод з низьким лужним резервом (до 1,5 ммоль/дм<sup>3</sup>) які містять ферум гумінові комплекси (до 10 мг/дм<sup>3</sup>), амонійний нітроген (до 2,0 мг/дм<sup>3</sup>), феноли (0,08-0,5 мг/дм<sup>3</sup>), легкоокиснювальні органічні сполуки (до 8,0 мг O<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>), катіони Cr<sup>6+</sup> (до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>) розроблена та впроваджена технологія в основі якої закладено принцип синергізму комплексного використання фізичних, фізико-хімічних та біохімічних методів. Використання на першій стадії методу гідродинамічної кавітації дозволяє: 1 – проводити окиснення NH<sub>3</sub> з утворенням газоподібного N<sub>2</sub>; 2 – руйнувати молекулярні зв'язки в складних органічних молекулах і частково їх окиснювати, переводячи із розчиненого до колоїдного стану; 3 – утворення активних молекул із групами COO<sup>-</sup>, які в подальшому легко вступають в реакцію з продуктами гідролізу оксихлориду алюмінію; 4 – підлучення води розчином кальцинованої соди дозволяє зупиняти окиснення фенолів на стадії утворення інтермедіатів з наступним їх виведенням за межі зони реакції в процесі коагулювання; 5 – одночасно із цим введення розчину кальцинованої соди дозволяє корегувати величини рН та гідрокарбонатної лужності води, а також вводити додаткове джерело неорганічного вуглецю для активації життєдіяльності феробактерій, що призводить до прискорення процесів біохімічного окиснення сполук феруму та утворення матриксних структур феробактерій; 6 – в свою чергу матриксні структури дозволяють проводити процеси адсорбції на їх поверхні катіонів NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, а також катіонів Al<sup>3+</sup>, які утворилися при гідролізі алюміній гідроксихлориду та не вступили у взаємодію із колоїдними частинками; 7 – хімічному відновленні біхромат та хромат-іонів катіонами Fe<sup>2+</sup> з подальшим видаленням Cr(OH)<sub>3</sub> за межі зони реакції в результаті підлучення та коагулювання.

#### Список використаних джерел

1. Квартенко О. М. Системний підхід до обґрунтування нових та удосконалення існуючих технологій кондиціонування багатокомпонентних підземних вод. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2018. Вип. 140. С. 98–103.
2. Орлов В. О. Знезалізнення підземних вод спрощеною аерацією та фільтруванням: монографія. Рівне: Видавничий центр НУВГП, 2008. 158 с.
3. Технические записки по проблемам воды: пер. с англ.: в 2-т. Т. 1 / под ред. Т. А. Карюхиной, И. Н. Чурбановой. Москва: Стройиздат, 1983. 607 с.
4. Вітенько Т. Н. Механізм та кінетичні закономірності інтенсифікуючої дії гідродинамічної кавітації у хіміко-технологічних процесах: дис. ... д-ра техн. наук: 05.17.08 / Терноп. нац. техн. ун-т ім. І. Пулюя. Тернопіль, 2010. 436 с.
5. Mouchet P. From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France. *Journal of the American Water Works Association*. 1992. Vol. 84, no 4. P. 158-167.
6. Askerniia A. A., Sorokina A. Iu., Dubinina G. A. Microbiological aspects of natural underground water deironing and demanganation. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*. 2014. No. 12. P. 14-21.
7. Журба М. Г., Говорова Ж. М. Водоснабжение. Улучшение качества воды: учебник для вузов. Том 2. Москва: Издательство АСВ, 2008. 544 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Шиян Л. Н., Юрмазова Т. А., Галанов А. И., Лобанова Г. Л. Электрохимические методы очистки подземных вод с высокой концентрацией железа. *Современные проблемы науки и образования*. 2012. № 6. С. 12.
9. Lytle D. A., Williams D., Muhlen Ch., Pham M., Kelty K. Biological Treatment Process for the Removal of Ammonia from a Small Drinking Water System in Iowa: Pilot to Full-Scale. *Water Supply and Water Resources Division*. 2014. P. 1-53.
10. Квартенко О. М., Саблій Л. А., Грюк І. Б. Вилучення фенолів із багатоконпонентних підземних вод методом гідродинамічної кавітації. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2017. № 5 (253). С. 83–88.
11. Витенько Т. Н., Гумницький Я. М. Механизм активирующего действия гидродинамической кавитации на воду. *Химия и технология воды*. 2007. № 5. С. 231-237.
12. Витенько Т. Н., Гумницький Я. М. Механізм реакцій гідроксильних радикалів при обробці води кавітаційному полі. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2010. № 6/6 (48). P. 60–63.
13. Маргулис М. А. Основы звукохимии. Москва: Химия, 1984. 272 с.
14. Букреева В. Ю., Грабович М. Ю., Епринцев А. Т., Дубинина Г. А. Сорбция коллоидных соединений оксидов железа и марганца с помощью железобактерий на песчаных грунтах очистных сооружений водоподъемных станций. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2009. Т. 9. Вып. 4. С. 506–514.
15. Kvarntenko A., Orlov V., Pletuk O. Research into the biosorption process of heavy metal ions by the sediments from stations of biological iron removal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 4/10 (88 ). P. 37–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.107201.
16. Emerson D., Field E., Olga Chertkov O., Davenport K. W., Goodwin L., Munk C., Nolan M., Woyke T. Comparative genomics of freshwater Fe-oxidizing bacteria: implications for physiology, ecology, and systematics. *Frontiers in Microbiology. Evolutionary and Genomic Microbiology*. 2013. Volume 4. Article 254.

### References

1. Kvarntenko O. M. (2018). Systemnyi pidkhid do obruntuvannia novykh ta udoskonalennia isnuuiuchykh tekhnolohii kondytsionuvannia bahatokomponentnykh pidzemnykh vod [A systematic approach to justifying new and improving existing conditioning technologies for multi-component groundwater]. *Komunalne hospodarstvo mist. Serii: Tekhnichni nauky ta arkhitektura – Utilities of cities. Series: Engineering and Architecture*, 140, 98–103 [in Ukrainian].
2. Orlov, V. O. (2008). Znezalznennia pidzemnykh vod sproshchenoiu aeratsiieiu ta filtruvanniam. [Groundwater removal with simplified aeration and filtration]. Rivne: NUBGP Publishing Center [in Ukrainian].
3. Barack, K., Beben, J., Bernard, J. (1983). *Tekhnicheskie zapiski po problemam vody [Public health]*. Moskva: Stroizdat [in Russian].
4. Vitenko, T. N. (2010). *Mekhanizm ta kinetychni zakonomirnosti intensyfikuiuchoi dii hidrodinamichnoi kavitatsii u khimiko-tekhnolohichnykh protsesakh [Mechanism and kinetic laws of intensity of dynamics of hydrodynamic cavitation in chemical and technological processes]* (Doctor's thesis). Ternop. nat. tech. University. I. Pulyuya, Ternopil [in Ukrainian].
5. Mouchet, P. (1992). From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France. *Journal of the American Water Works Association*, 84, 4, 158–167.
6. Askerniia, A. A., Sorokina, A. Iu., Dubinina, G. A. (2014). Microbiological aspects of natural underground water deironing and demanganation. *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*, 12, 14-21.
7. Zhurba, M. G. (Ed.). (2008). *Vodosnabzhenie. Uluchshenie kachestva vody [Water supply. Improving Water Quality]* (vol. 2). Moscow: Publishing house ACB [in Russian].
8. Shiyani, L. N., Yurmazova, T. A., Galanov, A. I., Lobanova, G. L. (2012). Elektrohimicheskie metody ochistki podzemnykh vod s vysokoi koncentraciej zheleza [Electrochemical methods of groundwater treatment with a high concentration of iron]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia – Modern problems of science and education*, 6, 12 [in Russian].
9. Lytle, D. A., Williams, D., Muhlen, Ch., Pham, M., Kelty, K. (2014). Biological Treatment Process for the Removal of Ammonia from a Small Drinking Water System in Iowa: Pilot to Full-Scale. *Water Supply and Water Resources Division*, 1-53.

10. Kvartenko, O. M., Sablii, L. A., Hriuk, I. B. (2017). Vyluchennia fenoliv iz bahatokomponentnykh pidzemnykh vod metodom hidrodinamichnoi kavitatsii [Extraction of phenols from multicomponent groundwater by hydrodynamic cavitation]. *Bulletin of Khmelnytsky National University. Series: Technical Sciences. Khmelnytskyi: Khmelnytsky National University*, 5 (253), 83-88 [in Ukrainian].

11. Vitenko, T. N., Gumnitskyi, Ia. M. (2007). Mehanizm aktiviruyushego dejstviya gidrodinamicheskoi kavitacii na vodu [The mechanism of the activating effect of hydrodynamic cavitation on water]. *Khimiia i tekhnologiia vody – Chemistry and water technology*, 5, 231–237 [in Russian].

12. Vytenko, T. N., Humnytskyi, Ya. M. (2010). Mekhanizm reaktsii hidroksylnykh radykaliv pry obrobsi vody u kavitatsiinomu poli [Mechanism of reactions of hydroxyl radicals in water treatment in a cavitation field]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/6 (48), 60–63 [in Ukrainian].

13. Margulis, M. A. (1984). *Osnovy zvukokhimi – Osnovy zvukohimii*. Moscow: Khimiia [in Russian].

14. Bukreeva, V. Yu., Grabovich, M. Yu., Eprincev, A. T., Dubinina, G. A. (2009). Sorbtsiia kolloidnykh soedinenii oksidov zheleza i margantsa s pomoshiu zhelezobakterii na peschanykh zagruzkakh otshistnykh sooruzhenii vodopodemnykh stantsii [Sorption of colloidal compounds of iron and manganese oxides using iron bacteria on sandy loads of treatment facilities of water-lifting stations]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy – Sorption and chromatographic processes*, 9 (4), 506–514 [in Russian].

15. Kvartenko, A., Orlov, V., Pletuk, O. (2017). Research into the biosorption process of heavy metal ions by the sediments from stations of biological iron removal. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4/10 (88), 37–43. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.107201.

16. Emerson, D., Field, E., Chertkov, O., Davenport, K. W., Goodwin, L., Munk, C., Nolan, M., Woyke, T. (2013). Comparative genomics of freshwater Fe-oxidizing bacteria: implications for physiology, ecology, and systematics. *Frontiers in Microbiology. Evolutionary and Genomic Microbiology*, 4, 254.

UDC 628.16

Alexander Kvartenko

## USE OF COMBINED METHODS IN TECHNOLOGICAL TREATMENT OF MULTI-COMPONENT UNDERGROUND WATERS

**Urgency of the research.** Existing technologies are extensive ones and they do not envisage the comprehensive treatment of underground waters from pollutions of natural and androgenic origin.

**Target setting.** Scientific substantiation, research and introduction into practice of the technological solution which envisages the comprehensive treatment as a result of combining known and improved methods.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The most widespread is the technology of treatment by the method of simplified aeration-filtration which is of limited application through a series of indices ( $Fe^{2+} < 10 \text{ mg/dm}^3$ ,  $pH > 6,8$ , hydrocarbonate alkalinity  $> 2,0 \text{ mmole/dm}^3$ ,  $H_2S < 2,0 \text{ mmole/dm}^3$ ).

**Uninvestigated parts of general defining.** The development and introduction into practice of the technology based on the principle of the synergy of the comprehensive use of combined methods.

**The research objective.** The development of scientific-technical principles in the branch of the comprehensive treatment of natural underground waters using combined methods.

**The statement of basic materials.** It is established that under the combination of known and improved methods in using the synergic effect the undergoing processes of the treatment of multi-component systems is not by far less than for one-component ones ( $Fe^{2+}$ ). The theoretical principles have been developed. of the comprehensive treatment of underground waters from compounds of ferrum, ammonia nitrogen, phenols, chromium (IV), fluorine using methods of hydrodynamic cavitation - alkalization - coagulation - biochemical treatment - filtration.

**Conclusions.** To treat weak acidic ( $pH$  up to 6,5) underground waters with low alkali reserve (up to  $1,5 \text{ mmole/dm}^3$ ) which contain ferrum-humin complexes (up to  $10 \text{ mg/dm}^3$ ), ammonia nitrogen (up to  $2,0 \text{ mg/dm}^3$ ), phenols ( $0,08-0,5 \text{ mg/dm}^3$ ), easily oxidized organic compounds (up to  $8 \text{ mg O}_2/\text{dm}^3$ ), cations  $Cr^{6+}$  (up to  $0,5 \text{ mg/dm}^3$ ) the technology has been developed and put into practice based on the principle; of the synergic use of known and improved combined methods.

**Keywords:** comprehensive treatment; matrix structures; hydrodynamic cavitation; phenols; ammonia nitrogen.

Fig.: 3. References: 16.

**Квартенко Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент/докторант, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Kvartenko Alexander** – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor/doctoral, National University of Water and Environmental Engineering (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** as-755@rambler.ru

## РОЗДІЛ V. БУДІВНИЦТВО ТА ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.001+681.518

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-223-228

Владислав Смілка

### ОНТОЛОГІЧНА МОДЕЛЬ МІСТОБУДІВНОГО МОНІТОРИНГУ ЗЕМЕЛЬ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ

**Актуальність теми дослідження.** Положення земельного та містобудівного законодавства визначають необхідність створення окремих галузевих моніторингових систем. Розвиток сучасних технологій забезпечує можливість об'єднання різнопрофільних інформаційних потоків в єдиному середовищі для сприяння якості управлінських рішень.

**Постановка проблеми.** Онтологічна модель подання знань предметної галузі відіграє важливе значення в розробленні інформаційних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Окремі публікації розглядали тематичні та специфічні онтології, а також узагальнену онтологію моніторингових систем, які спрямовані на застосування геоінформаційних технологій.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Онтологічна складова системи містобудівного моніторингу земель населених пунктів, що інтегрує інформаційні ресурси моніторингу земель та містобудівного моніторингу не досліджувалась.

**Постановка завдання.** Визначити склад об'єктів та суб'єктів комплексного моніторингу, виділити окремі тематичні види спостереження, послідовні процеси моніторингу та побудувати онтологічну модель містобудівного моніторингу земель населених пунктів.

**Виклад основного матеріалу.** Онтологія містобудівного моніторингу земель населених пунктів представлена сукупністю множин об'єктів, процесів, видів тематичних напрямів моніторингу в складі загальної системи спостережень та множини сутностей об'єктів, визначень понять, відношень.

**Висновки відповідно до статті.** Онтологічна модель моніторингу охоплює сутність спостереження за землями населених пунктів та вказує напрями пошуку нових методів здійснення спостережень та оцінювання структурно-планувальних елементів населеного пункту. Онтологічна модель є базисом для подальшого моделювання та опису системи.

**Ключові слова:** моніторинг; населений пункт; онтологія; онтологічна модель; система.

Рис.: 2. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Згідно із Законом України «Про регулювання містобудівної діяльності» створюється система містобудівного моніторингу як одна з функцій містобудування та містобудівного кадастру. Разом з тим, земельним законодавством передбачено створення моніторингу земель, що діє в складі земельного кадастру. Об'єднання інформаційних потоків земельного та містобудівного спрямування в єдиному середовищі сприятиме обґрунтованості прийняття управлінських рішень.

**Постановка проблеми.** Моніторинг – це система періодичних спостережень за об'єктами, які здійснюються з певними цілями відповідно до затвердженої програми [1-4]. Об'єднання потоків інформації в комплексній системі моніторингу треба розглядати як технологічне переоснащення традиційної діяльності в певній сфері. Зміна підходів до діяльності нерідко супроводжується зміною методів і засобів спостереження та оброблення даних, що впливає на об'єктний склад, розширює зміст спостережень та очікувані результати. Виявити та зафіксувати такі зміни можливо на основі онтологічного підходу [1].

Містобудівний моніторинг земель населених пунктів є комплексною системою спостережень, фіксації змін, моделювання, оцінки і прогнозування показників стану використання земель та об'єктів містобудування для розроблення рекомендацій щодо прийняття управлінських рішень, спрямованих на забезпечення сталого розвитку території та задоволення потреб людини з урахуванням соціальних, екологічних та економічних факторів.

Онтологічна модель подання знань предметної галузі відіграє важливе значення в розробленні інформаційних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Онтологічний підхід застосовувався в наукових публікаціях для створення тематичних, специфічних онтологій [5-7]. Окремі публікації розглядали узагальнену онтологію моніторингових систем, спрямованих на застосування геоінформаційних технологій [1]. Оскільки комплексний містобудівний

моніторинг земель населених пунктів має особливості змістовного та об'єктного складу, застосування розроблених онтологій не можливо й потребує детального вивчення.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проблема створення комплексної системи моніторингу у населених пунктах розглядалась в аспекті методичного та організаційного забезпечення, а також впливу на прийняття управлінських рішень [8; 9]. Онтологічна складова системи містобудівного моніторингу земель населених пунктів, що інтегрує інформаційні ресурси моніторингу земель та містобудівного моніторингу не досліджувалась.

**Мета статті.** Розробити структуру містобудівного моніторингу земель населених пунктів. Визначити склад об'єктів та суб'єктів моніторингової системи, а також побудувати узагальнену онтологічну модель містобудівного моніторингу земель населених пунктів.

**Виклад основного матеріалу.** Спостереження в населених пунктах здійснюється за об'єктами в межах цілісного просторового базису, частково за тими ж самими об'єктами. Технологічні процеси галузевих моніторингів подібні. У зв'язку з цим пропонується на місцевому рівні державних систем об'єднати інформаційні ресурси галузевих моніторингів, які здійснюють спостереження за геопросторовими об'єктами, зокрема моніторинг довкілля, містобудівний моніторинг та моніторинг земель. Об'єднання інформаційних ресурсів дозволить уникнути проблеми дублювання інформації, підвищить якість прийнятих управлінських рішень, а також сприятиме економії фінансових, трудових та матеріальних ресурсів у зв'язку з підтримкою тільки єдиної моніторингової служби в населеному пункті [10].

Внутрішні процеси моніторингових систем можна вибудувати в технологічний ланцюг – спостереження, вимірювання, аналіз, контроль, оцінка, прогноз [9].

Спостереження – цілеспрямоване і організоване сприйняття зовнішнього світу, що доставляє матеріал для наукового дослідження.

Вимірювання – пізнавальна процедура, здійснювана на емпіричному рівні наукового дослідження, включно з визначенням характеристик матеріальних об'єктів (якісних і кількісних).

Аналіз – процес уявного або фактичного розкладання цілого на складові частини. Аналіз (як і синтез) виступає як логічний прийом мислення, пов'язаний із певними розумовими операціями: абстракцією, узагальненням. Розчленовування цілого на його частини дозволяє виявити будову досліджуваного об'єкта, його структуру.

Контроль – одна з основних функцій системи управління. Контроль здійснюється на основі спостереження за поведінкою керованої системи з метою забезпечення оптимального її функціонування (вимірювання досягнутих результатів і співвіднесення їх із очікуваними результатами). На основі даних контролю здійснюється адаптація системи, тобто прийняття оптимальних управлінських рішень.

Оцінка – прийняте науково обґрунтованими правилами і нормами схвалення або засудження різних об'єктів і явищ дійсності, подій і вчинків людей залежно від їхньої значущості в оцінюваній ситуації.

Прогноз – спеціальне наукове дослідження конкретних перспектив розвитку якого-небудь явища.

З метою виявлення функцій комплексного моніторингу в населених пунктах та побудови його структури проведено понятійний аналіз законодавчих й нормативних документів та науково-методичної літератури у сфері містобудування, землевпорядкування та екології.

Шляхом об'єднання подібних за змістом та внутрішньою сутністю понять пропонується сформулювати таку структуру системи містобудівного моніторингу земель населених пунктів:

1. Моніторинг реалізації містобудівної документації. Моніторинг реалізації містобудівної документації – це підсистема обліку, аналізу та оцінки фактичних змін показників об'єктів містобудування та характеристик стану території в порівнянні з проектними показниками, які затверджені в складі генерального плану населеного пункту,



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

плану зонування або детального плану території і спрямовані на забезпечення сталого розвитку населеного пункту з урахуванням національних і громадських інтересів. Об'єктами цього виду моніторингу є структурно-планувальні елементи населеного пункту, в межах яких розроблено містобудівну документацію.

2. Моніторинг забудови. Моніторинг забудови передбачає виконання заходів з аналізу та оцінювання змін параметрів об'єктів будівництва в порівнянні з проектною документацією, сумарних показників структурно-планувальних елементів в порівнянні з нормативними показниками. Моніторинг забудови може проводитись на будь-якій території, у тому числі на території, для якої містобудівна документація не розроблена або неактуальна. Термін «забудова» вживається як у значенні предмету, так і у значенні процесу. В даному дослідженні «забудова» розуміємо, як предмет, що означає цілісне нерухоме майно, будівлю (групу будівель) споруджену, або таку, що будується на земельній ділянці. Об'єктами цього виду моніторингу є будівлі та споруди.

3. Моніторинг інфраструктури населеного пункту. Законодавчо такий вид моніторингу не визначений, але, на нашу думку, його необхідно виділити в окрему групу. Поняття «інфраструктура» в цьому дослідженні розуміємо, як сукупність галузевих мереж основних та допоміжних об'єктів, що забезпечують комунікаційні зв'язки шляхом постачання ресурсів, обмін інформацією, свободу пересування для комфортної та безпечної життєдіяльності населення. Об'єкти цього виду моніторингу є інженерно-транспортна інфраструктура.

4. Моніторинг земель населеного пункту є системою спостережень за станом земельного фонду для своєчасного виявлення змін, їх оцінки, попередження та усунення наслідків негативних процесів. Об'єктом моніторингу земель населеного пункту є всі землі, незалежно від форми власності, цільового призначення та характеру використання [8].

5. Моніторинг довкілля населеного пункту – це система спостереження і контролю за природно-антропогенними комплексами та процесами, що відбуваються в них, навколишнім середовищем загалом з метою раціонального використання природних ресурсів і охорони довкілля, прогнозування можливих змін. Об'єктами моніторингу довкілля населеного пункту є елементи навколишнього середовища, зокрема атмосферне повітря, поверхневі й підземні води, ґрунтовий і рослинний покриви, екосистеми, рослинність і джерела впливу на довкілля [4].

Об'єкти моніторингу поділяються на первинні, спостереження за якими здійснюється безпосередньо на місцевості, та узагальнюючі, спостереження за якими здійснюється в камеральних умовах, відстежуються сумарні показники первинних елементів. Схематично структура об'єктів містобудівного моніторингу земель населеного пункту наведена на рис. 1.

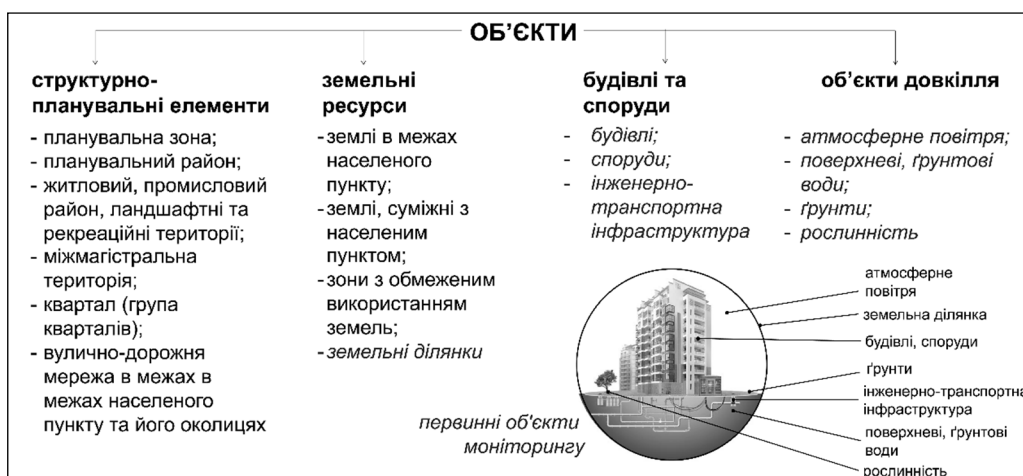


Рис. 1. Об'єкти містобудівного моніторингу земель населеного пункту

Основним джерелом інформації для аналітичних досліджень моніторингу є бази даних державного земельного та містобудівного кадастрів. Разом з тим суб'єктами моніторингу є органи місцевого самоврядування, місцеві органи виконавчої влади та їхні підрозділи, органи державної влади, ліцензовані проектні організації, сертифіковані спеціалісти, контролюючі органи, фізичні та юридичні особи власники (користувачі) земельних ділянок та/або нерухомого майна, розташованого на них, а також потенційні інвестори.

Онтологія використовує дані та знання, які збираються шляхом дослідження предметної області. Формально онтологію містобудівного моніторингу земель населених пунктів можна представити у вигляді співвідношення:

$$OM = \langle X, R, V, F \rangle, \quad (1)$$

де  $X$  – множина об'єктів моніторингу;

$R$  – множина процесів моніторингу;

$V$  – множина видів тематичних напрямлень моніторингу в складі загальної системи спостережень;

$F$  – множина сутностей об'єктів, визначень понять та відношень.

Онтологічна модель – це комплекс понять від загальних до конкретних, які описують множини об'єктів та їх відношень, подій та процесів, а також значень (семантики та зв'язків), які визначаються в часі й просторі [5].

Містобудівний моніторинг земель населених пунктів є одним із видів моніторингових систем, а тому успадковує від них усі основні властивості, загальні цілі, призначення, методичне забезпечення. Методичний базис моніторингу спирається на геоінформаційний та кваліметричний наукові підходи, в частині структурної організації, оброблення даних та методів оцінювання сталості розвитку населених пунктів. Узагальнена онтологічна модель містобудівного моніторингу земель населених пунктів наведена на рис. 2.



Рис. 2. Узагальнена онтологічна модель містобудівного моніторингу земель населеного пункту

Зазначена модель може бути деталізована до конкретних об'єктів моніторингу та процесів, які відбуваються в процесі спостереження, оброблення та аналізу даних про них.

Застосування онтологічного підходу до моделювання системи моніторингу при формалізації базових категорій предметної сфери дозволяє одержати такі переваги [11; 12]:

– модель легко доповнюється, а глибина опрацювання окремих аспектів моделі містобудівного моніторингу земель населеного пункту визначається практичною необхідністю;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

– формується основа для опису предметної сфери іншими мовами (засобами) моделювання;

– онтологічна модель містобудівного моніторингу земель населеного пункту дозволяє побудувати взаємозв'язки між категоріями на різних рівнях структури.

**Висновки відповідно до статті.** Розглянута онтологічна модель моніторингу охоплює сутність спостереження за землями населених пунктів та вказує напрями пошуку нових методів здійснення спостережень та оцінювання структурно-планувальних елементів населеного пункту. Застосування онтологічного походу при розробленні нової системи містобудівного моніторингу земель населеного пункту є одним з важливих етапів моделювання системи. Онтологічна модель є базисом для подальшого моделювання та опису системи.

**Список використаних джерел**

1. Лященко А. А., Патракеєв І. М. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2015. № 1. С. 174-177.
2. Калинин В. М. Мониторинг природных сред. Тюмень: Тюменский ГУ, 2007. 208 с.
3. Лебедев В. В., Куприянова Е. И., Харитонов В. А. Технология создания природоохранных геоинформационных систем. *Вестник Российской Академии наук*. 2006. Т. 76, № 2. С. 121–130.
4. Ісаєнко В. М., Лисиченко, Г. В., Дудар, Т. В., Франчук, Г. М., Варламов, Є. М. Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища. Київ: НАУ «НАУ-друк», 2009. 312 с.
5. Гайна Г. А., Тістол Н. В. Використання онтологічного підходу для опису об'єктів житлового середовища. *Управління розвитком складних систем*. 2014. № 17. С. 107-111.
6. Карпінський Ю. О., Лященко А. А., Рунець Р. В. Еталонна модель бази топографічних даних. *Вісник геодезії та картографії*. 2010. № 2. С. 28-36.
7. Коваленко О., Карпова О. Онтологічна модель інформаційного науково консультативного освітнього середовища. *Вісник Львівського університету*. 2013. № 50. С. 153-159.
8. Пиркова О. В. Організаційно-методичний механізм формування містобудівного моніторингу використання земель: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.24.04 / ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. Харків, 2016. 28 с.
9. Smilka V. Reflexive Signs in Town Planning Systems of Ukraine and Republic of Belarus. *Science & Technique*. 2018. № 17(2). P. 123-129. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-2-123-129.
10. Смілка В. А. Функціональна модель системи містобудівного моніторингу земель населених пунктів. *Технічні науки та технології: науковий журнал*. 2019. № 2 (16). С. 190-196. DOI: 10.25140/2411-5363-2019-2(16)-190-196.
11. Патракеєв І. М. Онтологічне дослідження міського середовища. *Управління розвитком складних систем*. 2015. № 23. С. 159-168.
12. Палагин А. В., Крытый С. Л., Петренко Н. Г. Онтологические методы и средства обработки предметных знаний: монография. Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2012. 324 с.

**References**

1. Lyashchenko A. A. & Patrakayev I. M. (2015). Ontologhiia ta osoblyvosti komponentiv heoinformatsiynoho monitorynhu za tekhnolohiyeyu baz heoprostorovykh danykh [Ontology and features of components of geoinformation monitoring by technology of geospatial data bases]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnyctva – Modern achievements of geodetic science and production*, 1, 174-177 [in Ukrainian].
2. Kalinin, V. M. (2007). *Monitoring prirodnykh sred [Environmental monitoring]*. Tiumen: Tiimenskii HU [in Russian].
3. Lebedev, V. V., Kupriyanova, E. I., Kharitonov, V. A. (2006). Tekhnologiya sozdaniya prirodookhrannykh geoinformatsionnykh system [Technology for creating environmental geoinformation systems]. *Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk – Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 76-2, 121-130 [in Russian].
4. Isaenko, V. M., Lisychenko, G. V., Dudar, T. V., Franchuk, G. M., Varlamov, E. M. (2009). *Monitorynh i metody vymiryuvannya parametriv navkolyshn'oho seredovyschcha [Monitoring and methods of measuring environmental parameters]*. Kyiv: NAU «NAU-druk» [in Ukrainian].
5. Gaina, G. A. & Tistol, N. V. (2014). Vykorystannya ontolohichnoho pidkhodu dlya opysu obyektiv zhytlovoho seredovyschcha [The use of an ontological approach for the description of objects

of the living environment]. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Management of the development of complex systems*, 17, 107-111 [in Ukrainian].

6. Karpinsky, Yu. O., Lyashchenko, A. A., Runets, R. V. (2010). Etalonna model bazy topografichnykh danykh [The reference model of a database of topographic data]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, 2, 28-36 [in Ukrainian].

7. Kovalenko, O. & Karpova, O. (2013). Ontolohichna model informatsiynoho naukovo konsul'tatsiynoho osvith'oho seredovyshcha [Ontological model of information scientific consulting educational environment] *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriya ekonomichna – Visnyk of Lviv National University. The series is economical*, 50, 153-159 [in Ukrainian].

8. Pirkova, O. V. (2016). *Orhanizatsiyno-metodychnyy mekhanizm formuvannya mistobudivnoho monitorynhu vykorystannya zemel [Organizational and methodical mechanism of formation of urban planning monitoring of land use]* (Extended abstract of candidate's thesis). O.M. Beketov NUUE, Kharkiv [in Ukrainian].

9. Smilka, V. (2018). Reflexive Signs in Town Planning Systems of Ukraine and Republic of Belarus. *Science & Technique*, 17(2), 123-129. DOI: 10.21122/2227-1031-2018-17-2-123-129.

10. Smilka, V. (2019). Funktsionalna model systemy mistobudivnoho monitorynhu zemel nasele-nykh punktiv [Functional model of the system of town-planning monitoring of lands of settlements]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, 2 (16), 190-196. DOI: 10.25140/2411-5363-2019-2(16)-190-196.

11. Patrakeev, I. M. (2015). Ontolohichne doslidzhennya mis'koho seredovyshcha [Ontological study of urban environment] *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system – Management of the development of complex systems*, 23, 159-168 [in Ukrainian].

12. Palagin, A. V., Kryvy, S. L., Petrenko, N. G. (2012). *Ontologicheskiye metody i sredstva obrabotki predmetnykh znaniy [Ontological methods and means of processing subject knowledge]* [in Russian].

UDC 528.001+681.581

Vladislav Smilka

## ONTOLOGICAL MODEL OF URBAN PLANNING MONITORING OF POPULATED AREAS

**Urgency of the research.** The provisions of the land and urban planning legislation determine the need for separate monitoring systems. The development of modern technologies enables the integration of diverse information flows in a single environment to promote the quality of management decisions.

**Target setting.** The ontological model of knowledge representation of the subject area is important in the development of information systems.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Separate publications have considered thematic and specific ontologies, as well as a generalized ontology of monitoring systems that focus on the use of geoinformation technologies.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The ontological component of urban land monitoring system of settlements integrating information resources of land monitoring and town planning monitoring has not been investigated.

**The research objective.** Determine the composition of objects and subjects of integrated monitoring, identify individual thematic types of observation, consistent monitoring processes and build an ontological model of urban land monitoring of settlements.

**The statement of basic materials.** The ontology of town-planning monitoring of the settlements' lands is represented by a set of many objects, processes, types of thematic areas of monitoring as part of the general system of observations and a set of the essence of objects, definitions of concepts, relations.

**Conclusions.** The ontological model of monitoring covers the essence of observation over the lands of settlements and indicates the directions of finding new methods of making observations and evaluating the structural and planning elements of the settlement. The ontological model is the basis for further modeling and description of the system.

**Keywords:** monitoring; settlement; ontology; ontological model; system.

Fig.: 2. References: 12.

**Смілка Владислав Анатолійович** – кандидат технічних наук, начальник відділу містобудівного аналізу та введення кадастрової інформації Департаменту містобудування та архітектури виконавчого органу Київської міської ради (КМДА) (вул. Хрещатик, 32, м. Київ, 01001, Україна).

**Smilka Vladislav** – PhD in Technical Sciences, Head of the Department for Urban Development Analysis and Cadastral Information of the Department of Urban Development and Architecture of the Executive Body of the Kyiv City Council (KCDA) (32 Khreshchatyk Str., 01001 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7025-9398>

**ResearcherID:** S-6934-2017

**Scopus ID:** 57211859251

Олена Поморцева, Марина Пілічева, Тетяна Анопрієнко

## ТЕХНОЛОГІЯ ВИКОРИСТАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРИ ОБРОБЦІ ГЕОДЕЗИЧНИХ ДАНИХ

**Актуальність теми дослідження.** Останніми роками в Україні у сфері геодезії та інших суміжних галузях науки активно розроблюються та впроваджуються інформаційні технології, що дозволяють прискорити процеси вирішення науково-технічних і господарських завдань.

**Постановка проблеми.** Обробка значних об'ємів геодезичних даних є трудомістким процесом, тому для автоматизації камеральної обробки результатів топографо-геодезичних робіт доцільно використовувати геоінформаційні технології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останні публікації вчених із цієї теми присвячені розробці методології і методик використання геоінформаційних технологій при виконанні геодезичних робіт, обробці і створенні геопросторових моделей даних.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Недостатньо дослідженим є питання використання при камеральній обробці геодезичних вимірювань популярних програмних продуктів, таких як Digital, AutoCad і ArcGIS та можливості їхнього застосування в зазначених роботах.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є технологія обробки результатів геодезичних вимірювань із використанням геоінформаційних систем, зокрема програмних комплексів Digital, AutoCad і ArcGIS.

**Виклад основного матеріалу.** Наведено технологію використання можливостей геоінформаційних систем AutoCad Civil 3D і ArcGIS при автоматизації процесів на всіх етапах проведення топографо-геодезичних робіт. Доведено доцільність використання безкоштовних інтернет-ресурсів – Публічна кадастрова карта України і картографічний сервер «Публічна карта GISFile» – на етапі збору та аналізу вихідних даних на район робіт. Наведено правила і принципи побудови бази геоданих на прикладі топографо-геодезичних даних ділянки залізниці. Показана можливість графічного представлення профілів як тривимірних об'єктів. Вирішені інженерно-геодезичні завдання з використанням розробленої геоінформаційної технології – визначено об'єм земляних робіт ділянки залізниці і розраховані техніко-економічні показники проекту.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено технологію синтезу функцій різних геоінформаційних систем, яка дозволяє автоматизувати: процеси збору й аналізу вихідних даних; камеральну обробку результатів геодезичних вимірювань із наступною побудовою топографічних карт (планів) і профілів; створення тривимірної моделі місцевості; рішення складних інженерно-геодезичних задач; розрахунки техніко-економічних показників проектів.

**Ключові слова:** геоінформаційна система; топографо-геодезичні дані; камеральні роботи; база геоданих; автоматизація.

Рис.: 5. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Одним із найважливіших напрямів державної політики більшості країн світу, як і України, у сфері сталого розвитку територій з метою ефективного та раціонального використання природних ресурсів, зокрема і природних копалин, є розробка та впровадження інформаційних технологій, що дозволяють прискорити процеси вирішення науково-технічних і господарських завдань.

Подібні технології застосовуються в геодезії та інших суміжних галузях науки, таких як землеустрій та кадастр, ґрунтознавство, геологія, екологія, будівництво тощо. Це стосується активного впровадження автоматизованих вимірювальних систем і програмно-технічних комплексів на всіх етапах виконання геодезичних робіт.

**Постановка проблеми.** Найчастіше для обробки значної сукупності отриманих даних, особливо що подаються в режимі реального часу, використовуються можливості геоінформаційних систем (ГІС). Останні дозволяють приймати оптимальні рішення за порівняно короткий проміжок часу, що, у кінцевому підсумку, підвищує якість робіт і мінімізує витрати на їхнє виконання. Ефект від використання прикладних ГІС істотно підвищується в тому випадку, якщо з ними синхронізована робота інших інформаційних систем, наприклад, реляційних систем управління базами даних.

При топографо-геодезичних роботах сьогодні застосовуються цифрові високоточні вимірювальні прилади, які дозволяють виконати зйомку великих територій за один виїзд і накопичити всі дані в одному інформаційному масиві. Однак обробка цих даних вручну досить трудомістка, тому для автоматизації подібних робіт, а також виконання складних математичних розрахунків, які притаманні камеральній обробці результатів зйомки, доцільно використовувати геоінформаційні технології.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методологію і методику використання геоінформаційних технологій при виконанні геодезичних робіт, обробці і створенні геопросторових моделей даних представлено в наукових роботах як зарубіжних (М. Effati, М. А. Rajabi [1], С. Liqueste, S. Kleeschulte, J. Maes, В. Grizzetti [2]), так і вітчизняних учених (В. Б. Балакірський, С. В. Захаров, Ю. О. Литвиненко, Р. В. Куришко [3], П. І. Біда [4], Н. Г. Русіна, В. О. Люльчик [5] та інших).

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** При цьому більшість досліджень вищезгаданих науковців спрямовано на використання при камеральній обробці геодезичних вимірювань програмного комплексу CREDO і не враховують наявні у виконавців геодезичних робіт таких популярних програмних продуктів, як Digital, AutoCad і ArcGIS та можливості їхнього застосування в зазначених роботах.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є технологія обробки результатів геодезичних вимірювань з використанням геоінформаційних систем, зокрема програмних комплексів Digital, AutoCad і ArcGIS.

**Виклад основного матеріалу.** У запропонованій технології проведення геодезичних робіт і обробки отриманих даних з використанням геоінформаційних систем виконуються такі основні етапи:

1. Передпроектні роботи.
2. Польові роботи.
3. Камеральні роботи.
4. Вирішення інженерно-геодезичних завдань.

На етапі передпроектних робіт виконується збір і аналіз наявних даних на район робіт, до яких відносяться:

- проекти землеустрою, матеріали інвентаризації земель;
- кадастрові карти (плани) існуючих земельних ділянок;
- топографічні карти і плани відповідних масштабів, вибір яких залежить від площі земельної ділянки та цілі проведення топографічних робіт;
- кроки і списки координат існуючих пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ);
- кроки і списки координат пунктів мереж згущення;
- координати поворотних точок межі земельної ділянки;
- відомості про обмеження та обтяження.

Одним із джерел отримання кадастрової інформації про район робіт на передпроектному етапі є Публічна кадастрова карта України [6], за допомогою якої можна отримати такі загальнодоступні відомості про земельні ділянки: кадастровий номер, форма власності, площа, цільове призначення.

Також на безкоштовному картографічному сервері «Публічна карта GISFile» [7] доступна така інформація про район робіт:

1. Базові карти (дорожні карти (Road, StreetMap), карта супутникових знімків високого просторового розрізнення (Satellite, Aerial), об'єднання звичайної і супутникової карти (Hybrid). При цьому доступні такі базові шари, як OpenStreetMap, Google Road, Google Satellite, Google Hybrid, Yandex Map, Yandex Satellite, Yandex Hybrid, Yandex Public, Bing Road, Bing Aerial.

2. Кадастрова інформація – просторова інформація, яка включає в себе дані про земельні ділянки (кадастровий номер, форма власності, цільове призначення, площа земельної ділянки).

3. Дані про рельєф місцевості – просторова інформація, що містить дані про рельєф місцевості з висотою перетину 5 м, а також існує можливість отримання значення висоти для будь-якої точки по координатах на основі даних SRTM (Shuttle radar topographic mission) (довгота, широта і висота точки в системі координат WGS84).

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Дані про ґрунти – просторова інформація, яка включає дані про тип ґрунтів (шифр і тип ґрунту).

5. Геопункти – просторова інформація про дані розташування геодезичних пунктів Державної геодезичної мережі України.

Результатом цього етапу є попередня інформація про стан об'єкта дослідження, його основних фізичних характеристик і місцезнаходження [8]. При цьому також можна максимально швидко, без виїзду на місцевість, оцінити якісний і кількісний склад угідь території робіт, рельєф і ґрунти.

Об'єктом робіт, на прикладі якого розглядається запропонована технологія, є територія шахти, для якої виконується проектування нової ділянки залізничної колії.

Після вибору початкової і кінцевої точок залізничної колії проводиться геодезична лінія, яка стане напрямом майбутньої траси. З метою більш детального вивчення рельєфу пересічної місцевості і виявлення можливих перешкод між початковим і кінцевим пунктами виконуються польові геодезичні роботи, за результатами яких будуть побудовані поздовжні та поперечні профілі залізничного полотна, а також побудований топографічний план смуги відведення залізничної колії.

Перед початком польових робіт проводиться рекогностування місцевості, яке виконується з метою перевірки збереження існуючих пунктів Державної геодезичної мережі та наявних межових знаків поворотних точок земельної ділянки, вибору оптимальної технології проведення робіт і розміщення пунктів геодезичної мережі згущення.

Після проведеного обстеження проводиться топографічна зйомка ділянки робіт, яка виконана з урахуванням нормативно-правових актів України з проведення геодезичних робіт [9; 10] та інструкції [11] в системі координат УСК-2000 (система координат висот– Балтійська). Вона включала в себе побудову мережі згущення ДГМ, наприклад, прокладанням теодолітних ходів з подальшим проведенням тахеометричної зйомки для складання плану в масштабі 1 : 500 (1 : 1 000) незабудованих територій.

Зрівнювання теодолітних ходів і обробка тахеометричної зйомки виконувалися в програмному продукті Digitals, у результаті чого було отримано текстовий файл із координатами X, Y, Z точок зйомки. Також цей файл можна отримати при перенесенні даних зйомки з тахеометра на комп'ютер.

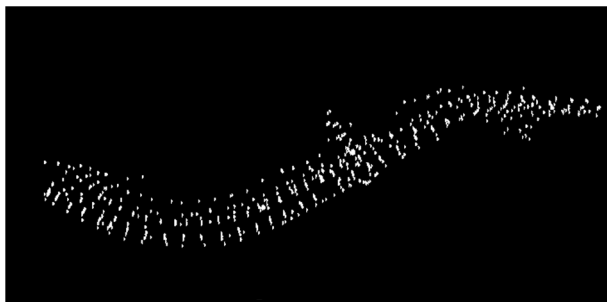
Складання топографічного плану виконувалося в програмному продукті AutoCAD Civil 3D. Перевагою використання цієї програми є те, що дані можна вводити як безпосередньо із сучасних геодезичних приладів (імпортуючи зовнішні дані), так і створювати вручну, використовуючи дані польових журналів, промірів, лінійних і кутових засічок:

- за непрямыми даними (напрямок, відстань від об'єктів, кути, ухили, зміщення);
- розбиваючи та розмічаючи об'єкти (відрізки, полілінії, траси, горизонталі, характерні лінії коридору).

Також цей програмний продукт підтримує стилі точок та стилі міток точок, що дозволяє відобразити в кресленні їх умовні позначення. Точки, у свою чергу, можна об'єднувати в групи за параметрами (опис, номер, відмітки). Зміна стилів точок і стилів міток групи дозволяє змінювати вид на кресленні всіх точок одночасно, скорочуючи час при оформленні топографічного плану [12].

Для подальшої роботи отримана група точок була імпортована з текстового файлу в креслення, створений на основі шаблону «AutoCADCivil3DRussian(Metric).dwt» (рис. 1).

Після цього необхідно розбити пікети, а діаметри отриманих з пікетів кіл змінити у вікні властивостей. У зв'язку з тим, що необхідною умовою геоінформаційної технології є зв'язок просторової інформації і атрибутивних даних, то для вирішення даного завдання використовуються електронні таблиці, які створюються у додатку Microsoft Office Excel. При цьому необхідно враховувати, що назву активного аркуша в книзі електронних таблиць необхідно починати з цифри.



*Рис. 1. Вид креслення, отриманий після імпорту групи точок*

Потім за допомогою утиліти «Майстра очищення креслення» в AutoCAD Civil 3D усі кола були перетворені в полілінії. Таким чином створюються зв'язки між колами й даними електронних таблиць, тобто створюється зв'язок із базою даних. У результаті чого були отримані кола, центри яких відповідають плановому положенню пікетів, а як атрибутивні дані використовується висота.

Далі, використовуючи стандартний набір команд AutoCAD Civil 3D, проводиться побудова горизонталей і отримання необхідного набору точок, які будуть використовуватися для побудови поверхонь.

При виборі конкретного програмного продукту, що реалізує ГІС-технологію, необхідно враховувати, що проектування залізниць висуває специфічні вимоги, що полягають у наступному:

- наявність ефективних засобів створення і підтримки зручного для користувача інтерфейсу;
- наявність засобів програмування, що дозволяють створювати модулі для вирішення специфічних завдань, що виникають під час проектування;
- наявність засобів впровадження нової або розширення існуючої моделі предметної області;
- наявність можливості мережевої роботи.

З урахуванням всіх цих вимог було обрано програмне забезпечення від компанії ESRI – ArcGis.

Для подальшої автоматизації робіт необхідне створення бази геоданих, що містить перелік шарів з атрибутивними даними. Для цього в програмному продукті ArcCatalog файли \*.dwg, попередньо отримані в AutoCAD Civil 3D, були конвертовані в \*.shp. У результаті чого були отримані відповідні шари, кожному з яких притаманний свій набір атрибутивних даних. Отримані таким чином атрибутивні дані в подальшому можна використовувати для проектування ділянки залізничної колії.

База геоданих (БГД) використовує модель даних на основі топологічних зв'язків класів просторових об'єктів, яка визначає узагальнену модель даних для географічної інформації. Ця модель може бути використана для створення різних проблемно орієнтованих моделей даних, спрямованих на вирішення конкретних завдань користувача. На етапі концептуальної розробки системи, необхідно розглянути вимоги до створюваної бази геоданих, і виходячи з цього, розробити структуру бази даних. З огляду на наявні вихідні дані, були визначені такі класи об'єктів:

- точкові (дерева);
- лінійні (ділянки верхньої та нижньої межі насипу, залізничні колії);
- полігональні (будівлі, зелені насадження).

Схема бази даних - це набір таблиць, пов'язаних між собою за допомогою полів зв'язками один до багатьох. Надалі база даних була нормалізована до четвертої нормальної форми. Тобто дані були організовані в базі таким чином, що всі таблиці пов'язані між собою відповідно до правил, що забезпечують захист даних. Це робить базу даних більш



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

гнучкою, усуваючи надмірність і неузгоджені залежності [13]. Надмірність даних призводить до непродуктивного витрачання вільного місця на жорсткому диску і ускладнює обслуговування бази даних. На рис. 2 наведена схема бази геоданих проекту.

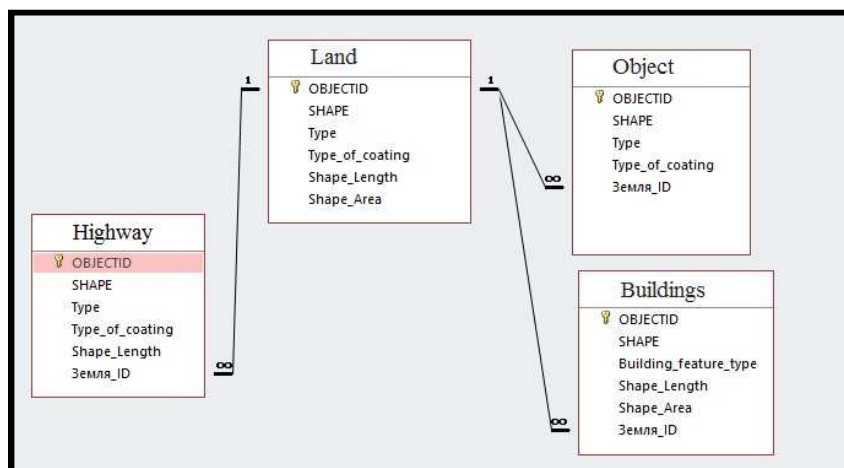


Рис. 2. Схема бази геоданих

Після створення бази геоданих і відповідних класів просторових об'єктів можна виконувати векторизацію просторових об'єктів у програмному середовищі ArcMap. При цьому необхідно дотримуватися тих шарів і просторових об'єктів, які вже були попередньо створені (рис. 3).

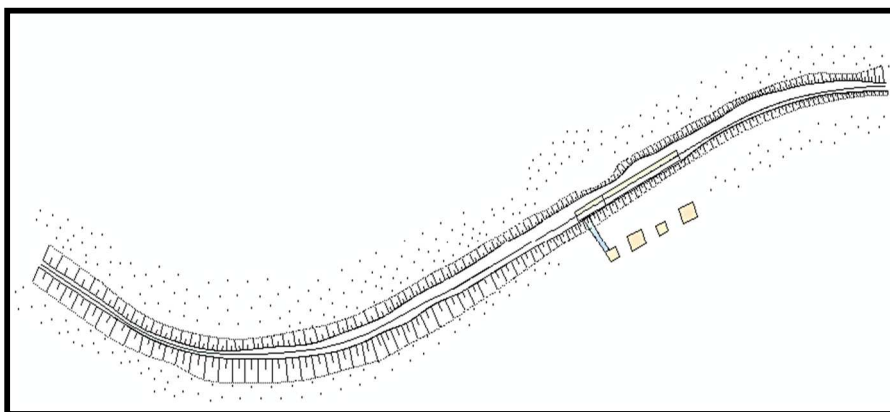


Рис. 3. Вид об'єктів ділянки залізниці у векторному вигляді

Отриманий план може бути використаний у процесі формування ділянки залізничної колії. Завдяки можливостям програмного продукту ArcGis, заповнення бази даних і формування об'єктної моделі відбувалося практично паралельно.

Під час векторизації по кожному об'єкту вноситься відповідна атрибутивна інформація. При формуванні моделі залізниці здійснюється перевірка топології. Отримані матеріали використовуються в подальшому для вирішення інженерно-геодезичних задач із використанням ГІС, зокрема – визначення обсягів земляних робіт. Перше, що необхідно зробити для визначення обсягів земляних робіт, – створити інтерпольовану поверхню. Поверхня може бути растром, триангуляційною мережею або оболонкою. Якщо поверхня – триангуляційна мережа або оболонка, аналізується розмір кожного трикутника, з якого складається поверхня, до загальної площі й об'єму. Результатом буде сума частин. Якщо поверхня – растр, центри пікселів растра з'єднуються в трикутники. І такі трикутники обробляються за аналогією з триангуляційною мережею.

Висота площини в мові програмування Python, яка використовується в ArcGIS, являє собою висоту горизонтальної площини, використовуючи яку виконують обчислен-

ня, зазначаючи відповідні одиниці виміру. За параметром «Висота площини» (Plane Height) визначається параметр «Базова площина» (Reference Plane). Якщо значення «Базова площина» – Above, необхідно встановити значення Висоти площини, що дорівнює мінімальній висоті площини. Якщо ж він дорівнює Below, за замовчуванням встановлюється значення, що дорівнює максимальній висоті площини. Таким чином, можна створити поверхню в програмному продукті ArcMap.

За допомогою інструменту TIN to Raster були отримані два растра – до створення насипу на залізничному полотні й після. За допомогою інструменту Minus необхідно відняти висоти з растрового файлу з насипом і без нього. У результаті було отримано інформацію про різниці висот між початковим і існуючим рельєфом. З допомогою інструменту Surface Volume в програмному продукті ArcScene можна обчислити на основі створеної поверхні площу і об'єм, обмежений базовою площиною і поверхнею рельєфу. Аргумент Базова площина (Reference Plane) визначає, буде розрахований об'єм «вище» або «нижче» поверхні. Таким чином, було визначено об'єм земляних робіт і отримано текстовий файл з потрібною інформацією (рис. 4).

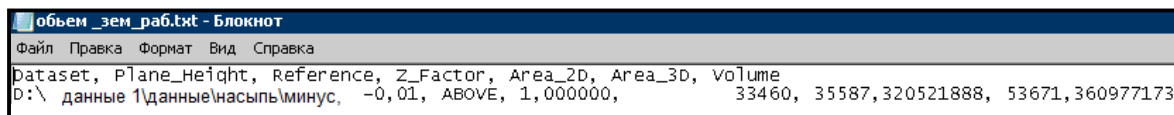


Рис. 4. Вид текстового файлу з результатами обчислень

Вихідний текстовий файл складений за результатами робіт (рис. 4) – це ASCII текстовий файл із роздільниками – комами. Перший рядок файлу містить назви полів: Набір даних (Dataset), Висота площини (Plane\_Height), Базова площина (Reference), коефіцієнт Z (Z\_Factor), Площа 2D (Area\_2D), Площа 3D (Area\_3D), Об'єм (Volume). Решта рядків містять значення цих параметрів.

Під час проектування залізничної колії за обраним маршрутом необхідно враховувати перешкоди, які знаходяться на проектному шляху. Їх візуалізація здійснюється за допомогою профілів. Для побудови графічного представлення профілів був використаний інструмент тривимірного аналізу – Графік профілю (Profile Graph) у програмному продукті ArcMap. Профілі можна моделювати на основі будь-яких лінійних тривимірних об'єктів, нанесених на поверхню, з використанням наборів растрових даних або наборів даних поверхонь. Графіки профілів створюються за допомогою тривимірної лінії, проведеної по набору точок (рис. 5).

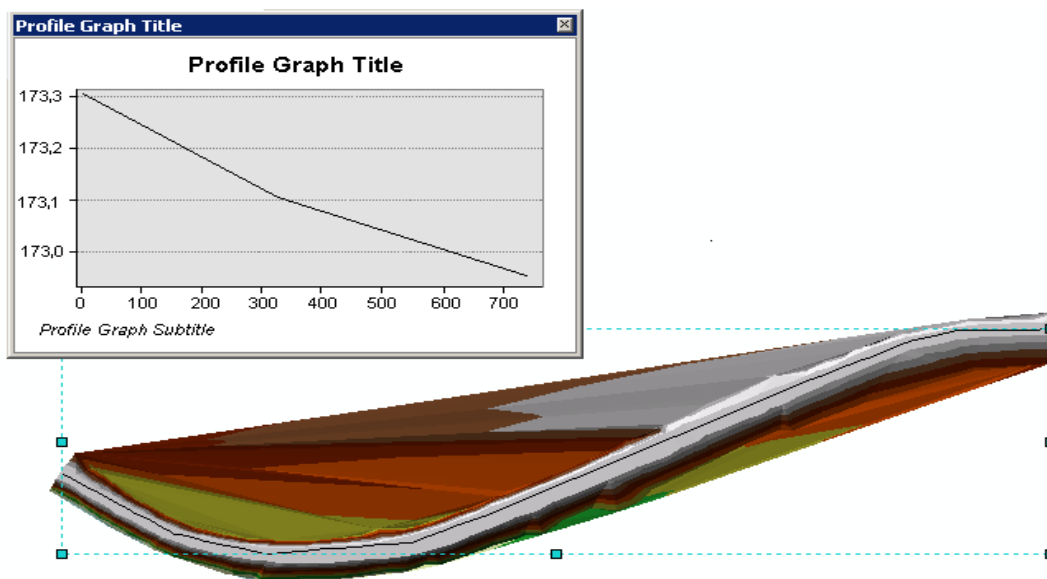


Рис. 5. Форма профілю ділянки залізничної колії

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Спираючись на певний об'єм земляних робіт і існуючі тарифи на виконання відповідних видів робіт, можна автоматизувати розрахунки техніко-економічних показників земляних робіт і вартості будівництва залізничних колій.

**Висновки відповідно до статті.** У результаті проведених досліджень була розроблена технологія синтезу функцій різних геоінформаційних систем, яка дозволяє автоматизувати:

- 1) процеси збору і аналізу вихідних даних;
- 2) камеральну обробку результатів геодезичних вимірювань з наступною побудовою топографічних карт (планів) і профілів;
- 3) створення тривимірної моделі місцевості;
- 4) вирішення складних інженерно-геодезичних завдань;
- 5) розрахунки техніко-економічних показників проєктів.

Також застосування запропонованої технології дозволяє оптимізувати строки проведення всіх етапів топографо-геодезичних і проєктних робіт, при цьому підвищуючи якість збору, обробки та систематизації даних.

### Список використаних джерел

1. Effati M., Samadzadegan F., Rajabi M. A. Risk Analysis of Transportation Networks Using a Fuzzy Based Multi-Criteria Decision Making System. *1st Annual International Conference on Transportation and Logistics, Chiangmai*. 2009. P. 125-130.
2. Liqueste C., Kleeschulte S., Dige G.; Maes J., Grizzetti B., Olah B., Zulian G. Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environ. Sci. Policy*. 2015. Vol. 54. P. 268–280.
3. Балакірський В. Б., Захаров С. В., Литвиненко Ю. О., Куришко Р. В. Використання геодезичного обладнання та ГІС-технологій для формування геопросторових даних. *Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Серія Екологія*. 2014. Вип. 11. № 1140. С. 9-13.
4. Біда П. І. Використання ГІС-технологій у землевпорядному проєктуванні. *Український журнал прикладної економіки*. 2017. Т 2, № 2. С. 120-128.
5. Русіна Н. Г., Люльчик В. О. Програмне забезпечення геодезичних розрахунків у землеустрої. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія технічні науки*. 2019. № 1. Т. 30 (69). Ч. 2. С. 156-160.
6. Сайт Публічної кадастрової карти України. URL: <https://map.land.gov.ua/kadastrova-karta>.
7. Сайт Публічної карти GISFile. URL: <http://gisfile.com/publicmap.htm?sl=UA>.
8. Паздрій І. М., Білінський Ю.В. Використання геоінформаційних систем для зображення рельєфу земної поверхні. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*. 2006. Вип. 33. С. 301-309.
9. Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: Закон України від 23 груд. 1998 р. № 353-XIV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14>.
10. Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» : Постанова Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF>.
11. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.
12. Использование AutoCAD для решения профессиональных задач. Лабораторный практикум: учебное пособие. Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2018. 195 с.
13. Пілічева М. О., Кінь Д. О., Поморцева О. Є. Інтеграція топографічної та кадастрової інформації базового набору геопросторових даних земельної ділянки. *Містобудування та територіальне планування*. 2018. № 66. С. 523-531.

### References

1. Effati, M., Samadzadegan, F., Rajabi, M. A. (2009). Risk Analysis of Transportation Networks Using a Fuzzy Based Multi-Criteria Decision Making System. *1st Annual International Conference on Transportation and Logistics, Chiangmai*, 125-130.
2. Liqueste, C., Kleeschulte, S., Dige, G.; Maes, J., Grizzetti, B., Olah, B., Zulian, G. (2015). Mapping green infrastructure based on ecosystem services and ecological networks: A Pan-European case study. *Environ. Sci. Policy*, 54, 268–280.

3. Balakirskiy, V. B., Zakharov, S. V., Lytvynenko, Yu. O., Kuryshko, R. V. (2014). Vykorystannia heodezychnoho obladnannia ta HIS-tekhnologii dlia formuvannia heoprostorovykh danykh [Using of geodetic equipment and GIS technologies for the formation of geospatial data]. *Visnyk KhNU imeni V. N. Karazina. Seriiia Ekolohiia – Bulletin of V. N. Karazin KhNU. Ecology series*, 11, 1140, 9-13 [in Ukrainian].
4. Bida, P. I. (2017). Vykorystannia HIS-tekhnologii u zemlevporiadnomu proektuvanni [Using of GIS technologies in land planning]. *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky – Ukrainian Journal of Applied Economics*, 2, 120-128 [in Ukrainian].
5. Rusina, N. H., Liulchuk, V. O. (2019) Prohramne zabezpechennia heodezychnykh rozrakhunkiv u zemleustroi [Software of geodetic calculations in land management]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriiia tekhnichni nauky – Scientific notes of V. I. Vernadsky TNU. Technical Sciences Series*, 1, 30(69), 2, 156-160 [in Ukrainian].
6. Sait Publichnoi kadaastrovoi karty Ukrainy [Site of the Public Cadastral Map of Ukraine]. Retrieved from <https://map.land.gov.ua/kadastrova-karta> [in Ukrainian].
7. Sait Publichnoi karty GISFile [Public Map Website GISFile]. Retrieved from: <http://gisfile.com/publicmap.htm?sl=UA>.
8. Pazdrii, I.M., Bilinsky, Y.V. (2006). Viktoristannia geoinformacijnih sistem dlya zobrajennia reľefu zemnoi poverhni [Use of geoinformation systems to represent terrain surface]. *Visnyk Lvivskoho universytetu. Seriiia heohrafichna – Bulletin of the University of Lviv. The series is geographical*, 33, 301-309 [in Ukrainian].
9. Pro topografo-geodezichnu i kartografichnu diyalnist [On Topographical-Geodetic and Cartographic Activities]. № 353-XIV (December 23, 1998). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14>.
10. Deiaki pytannia realizatsii chastyny pershoi statti 12 Zakonu Ukrainy «Pro topografo-heodezichnu i kartografichnu diyalnist» [Some Issues of Implementation of Part 1 of Article 12 of the Law of Ukraine” On Topographical-Geodetic and Cartographic Activities”]. № 646 (August 7, 2013). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-%D0%BF>.
11. Instruktsiia z topografichnoho znimannia u mashtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (HKNTA-2.04-02-98) [Topographic Survey Manual in Scales 1:5000, 1:2000, 1:1000 and 1:500 (GKNTA-2.04-02-98)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>.
12. Pomortseva, O. E. (2018). Ispol'zovanie AutoCAD dlya resheniya professional'nyh zadach. Laboratornij praktikum [Use AutoCAD to solve professional problems. Laboratory workshop]. Kharkiv: O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv [in Russian].
13. Pilicheva, M. O., Kin, D. O., Pomortseva, O. E. (2018). Intehratsiia topografichnoi ta kadaastrovoi informatsii bazovoho naboru heoprostorovykh danykh zemelnoi dilianky [Integration of topographic and cadastral data of the basic dataset of geospatial data of the land plot]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban Planning and Territorial Planning*, 66, 523-531 [in Ukrainian].

UDC 528:004.04:625.1

*Olena Pomortseva, Maryna Pilicheva, Tetiana Anopriienko*

## THE TECHNOLOGY OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS USING IN THE SURVEYING DATA PROCESSING

**Urgency of the research.** In recent years in Ukraine in the field of geodesy and other related fields of science information technologies have been actively developed and implemented, which allow to accelerate the processes of solving scientific, technical and economic problems.

**Target setting.** Processing a significant amount of geodetic data is a labour-intensive process; therefore it is advisable to use geographic information technologies to automate desk processing of the results of topographic and geodetic surveys.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent publications of scientists on this topic are devoted to the development of methodology and techniques for the use of geofomation technologies in the implementation of surveying, processing and creation of geospatial models of data.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The problem of using of popular software products such as Digitals, AutoCad and ArcGIS for desk processing of the geodetic measurements and the possibility of their application in these works is not well researched.

**The research objective.** The purpose of the research is the technology of processing the results of geodetic measurements using geofomation systems, in particular the software complexes Digitals, AutoCad and ArcGIS.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**The statement of basic materials.** The technology of using the capabilities of the AutoCad Civil 3D and ArcGIS geoinformation systems in the automation of processes at all stages of topographic and geodetic works is presented. The expediency of using free Internet resources – Public cadastral map of Ukraine and map server "Public map GISFile" – at the stage of gathering and analyzing the output data for the area of work is proved. The rules and principles of building a geodatabase on the example of topographic and geodetic data of a railway section are given. The possibility of graphical representation of profiles as three-dimensional objects is shown. Engineering and geodetic tasks were solved using the developed geoinformation technology – the volume of earth-works of the railway section was determined and the technical and economic indicators of the project were calculated.

**Conclusions.** The technology of synthesis of functions of various geoinformation systems has been developed, which allows to automate: processes of gathering and analysis of initial data; cameral processing of geodetic measurements with subsequent construction of topographic maps (plans) and profiles; creation of a three-dimensional terrain model; solving complex geodetic engineering problems; calculations of technical and economic indicators of projects.

**Keywords:** geographic information system; topographic and geodetic data; desk works; geodatabase; automation.

Fig.: 5. References: 13.

**Поморцева Олена Євгенівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна).

**Pomortseva Olena** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Land Administration and Geoinformation System, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (17 Marshal Bazhanov Str., 61002 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** elenapomor7@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4746-0464>

**Пілічева Марина Олегівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна).

**Pilicheva Maryna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Administration and Geoinformation System, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (17 Marshal Bazhanov Str., 61002 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** maryna.pilicheva@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1733-7534>

**Анопрієнко Тетяна Володимирівна** – старший викладач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова (вул. Маршала Бажанова, 17, м. Харків, 61002, Україна).

**Anopriienko Tetiana** – Senior Lecturer of the Department of Land Administration and Geoinformation System, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv (17 Marshal Bazhanov Str., 61002 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** atatyana2017@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7143-0591>

УДК 528.48:69

DOI: 10.25140/2411-5363-2019-4(18)-238-246

Олена Бойко, Дмитро Ляшенко, Дмитро Пруссов

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ BIM/GIS ІНТЕГРАЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ АЕРОПОРТІВ, ОТРИМАНИХ ЛАЗЕРНИМ СКАНУВАННЯМ

**Актуальність теми дослідження.** Процес проектування, будівництва та експлуатації сучасних об'єктів транспортної інфраструктури активно вдосконалюється, зважаючи на активний розвиток цифрових технологій: систем супутникового визначення місцеположення, цифрової фотограмметрії, лідарних та лазерних знімачів. Для оброблення масивів геопросторових даних нині використовуються геоінформаційні системи (GIS) та системи автоматизованого проектування (САПР). Шляхи інтеграції цих технологій нині перебувають на етапі становлення.

**Постановка проблеми.** Важливою науковою проблемою є пошук шляхів інтеграції просторових даних для створення будівельних інформаційних моделей (BIM) та геоінформаційних моделей GIS. Якщо BIM використовуються нині переважно для проектування та реконструкції об'єктів будівництва, то GIS вирішують набагато ширше коло завдань просторового планування і управління.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі були проаналізовані та узагальнені публікації з цієї теми: вивчений досвід впровадження будівельних інформаційних моделей (BIM) та геоінформаційних моделей GIS в діяльності аеропортів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Після етапу збирання геопросторових даних із різних сенсорів (ГНСС, БПЛА, лазерних сканерів), дані імпортуються до САПР або GIS. Для роботи з обома цими моделями використовуються різні програмні продукти. Процеси організації даних у процесі створення будівельних інформаційних моделей (BIM) та геоінформаційних моделей (GIS) до певної міри відрізняються. Питання інтеграції таких моделей нині неповною мірою опрацьовані, що потребують вирішення.

**Постановка завдання.** У процесі інтеграції просторових даних потребує рішення питання інтеграції семантики, топології, форматів і стандартів геопросторових даних. Важливим завданням є розроблення та вивчення досвіду створення програмних модулів, що дозволяють інтегрувати BIM-моделі до середовища геоінформаційних систем (GIS).

**Виклад основного матеріалу.** Лідерами з проведення об'єднання даних будівельних інформаційних моделей та геоінформаційних систем є компанії Autodesk та Esri. У роботі визначено актуальність застосування модуля Feature Manipulation Engine (FME), який інтегрує моделі BIM у форматі IFC (Industry Foundation Classes) в ArcGIS. Важливим напрямом подальшого розвитку технологій є впровадження у виробництво стандарту CityGML відкритого геопросторового консорціуму (OGC). Цей стандарт є перспективним для зберігання віртуальних 3D-моделей, які можуть бути загальними для САПР та GIS.

**Висновки відповідно до статті.** На основі виконаних досліджень встановлено, що актуальним напрямом дослідження є розроблення технологій, що дозволяють генерувати інформацію із BIM та GIS для створення більш взаємопов'язаної інфраструктури. Перспективним є інтеграція інформації BIM та GIS для створення інфраструктури просторових даних (ПД).

**Ключові слова:** геопросторові дані; геоінформаційні системи (GIS); будівельні інформаційні моделі (BIM); BIM/GIS інтеграція; лазерне та лідарне сканування; об'єкти транспортної інфраструктури; аеропорти; будівництво; реконструкція; інфраструктури геопросторових даних (ПД).

Рис.: 2. Бібл.: 19.

**Актуальність теми дослідження.** Нині Україна на шляху впровадження інформаційних технологій, і ці процеси відбуваються дуже інтенсивно в багатьох сферах: проектуванні, будівництві, управлінні територіальним розвитком, оновленні планово-картографічних матеріалів, створенні інфраструктури геопросторових даних, ведення кадастрів, створенні геоінформаційних систем різного призначення, геопорталів тощо.

Цифрова трансформація багатьох галузей, перехід на нові технології збору геопросторових даних, інформаційне моделювання, впровадження геоінформаційних систем, геопортальних рішень, хмарних технологій призводять до необхідності конвертації великих масивів даних в різне програмне середовище.

Розглядаючи проблему використання BIM/GIS технологій при проведенні комплексу робіт щодо реконструкції аеропортів України, враховуючи необхідність обробки даних в об'єднаних робочих процесах для забезпечення вирішення комплексу проектних, будівельних, експлуатаційних та управлінських завдань, проблема інтеграції та інтероперабельності даних є актуальною.

**Постановка проблеми.** У цьому дослідженні розглядаються концептуальні засади інтеграції даних, отриманих шляхом лазерного сканування для подальшого використання в програмах інформаційного моделювання будівель та споруд (BIM) та для використання при створенні геоінформаційних систем (GIS) майнового комплексу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Це дослідження є комплексним, в якому аналізується інтеграція масиву геоданих, отриманих шляхом лазерного (лідарного) сканування в різні робочі процеси, які пов'язані між собою: 1) проектно-вишукувальний, на якому відбувається збір геопросторових даних; 2) інтеграція даних лазерного сканування в системи інформаційного моделювання будівель та споруд (BIM) та в геоінформаційні системи (GIS) прийняття управлінських рішень; 3) BIM/GIS інтеграція геопросторових даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що проблемі використання лазерного сканування та нових підходів до проведення геодезичних вишукувань у будівництві присвячені праці Р. Шульца [1], А. Маліцького, В. Лозинського [2], М. Коцаб, Д. Вилим, И. Лехнер, К. Радей, А. Дрбал [3] та інших. Проблеми BIM/GIS інтеграції геопросторових даних присвячені праці Shimonti Pau [4], Arup Dasgupta [5], *Chris Andrews* [6], *Don Kuehne* [7] та інших.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз останніх досліджень і публікацій показав, що питання BIM/GIS інтеграції геоданих, отриманих шляхом лазерного та лідарного сканування, потребує додаткового дослідження, оскільки ці питання дуже важливі при виконанні комплексу робіт щодо реконструкції та модернізації таких великих інфраструктурних об'єктів, як аеропорти.

**Постановка завдання (цілей статті).** Метою цього дослідження є визначення концептуальних засад інтеграції геопросторових даних, отриманих шляхом лазерного та лідарного сканування між програмними продуктами, які технологічно різняться, призначені для вирішення різних цілей і завдань, але складають єдиний технологічний ланцюг від збору даних до їх практичного використання.

Завданням дослідження є визначення методів інтеграції даних лазерного (лідарного) сканування для BIM/GIS моделювання на основі виробників програмного забезпечення для інформаційного моделювання (Autodesk, Revit) і створення геоінформаційних систем (Esri, ArcGIS).

**Виклад основного матеріалу.** Інформаційні технології останніми роками широко застосовуються при вирішенні широкого спектра питань проектування, будівництва та експлуатації будівель, споруд та інфраструктурних об'єктів. Будівельна індустрія стрімко рухається до інформатизації, тому інформаційне моделювання (BIM) стає важливим інструментом, який дозволяє раціонально використовувати ресурси, оптимізувати робочі процеси, дає можливість всім зацікавленим сторонам одночасно оцінювати ту саму інформацію через взаємодію між різними технологічними платформами [4].

Країни Євросоюзу почали впроваджувати BIM-технології ще в 2013 році, а в липні 2018 року Робоча група Євросоюзу по BIM випустила Керівництво з впровадження технологій для європейських державних замовників. В Україні 2019 рік став роком офіційного впровадження BIM-технологій і 30.11.2019 р. був підписаний Меморандум «Дорожня карта впровадження інформаційного моделювання будівель (BIM) при створенні об'єктів будівництва, об'єктів архітектури». Це є важливим кроком на державному рівні до впровадження інформаційного моделювання при проектуванні, спорудженні об'єктів та їх експлуатації.

BIM-моделювання (Building Information Model) – інформаційне моделювання будівельного об'єкта, який включає створення та управління цифровими уявленнями фізичних і функціональних характеристик об'єкта. Отримані інформаційні моделі стають загальними джерелами знань для підтримки прийняття рішень про об'єкт від самих ранніх концептуальних етапів до проектування, будівництва, протягом терміну його експлуатації і можливого знесення. Основним програмним забезпеченням для BIM-моделювання на сьогодні є продукти компаній Bentley Systems, Autodesk (Revit, Civil 3D, Subassembly Composer, Tekla, Infravorks), Nemetschek та Graphisoft.

GIS-система (Geoinformation system) – геоінформаційна система, призначена для збору, зберігання, обробки, аналізу, управління та подання всіх типів географічних да-

них. Основним програмним забезпеченням для створення GIS-систем є продукти компаній Esri (ArcGis).

GIS широко використовується для візуалізації та аналізу геопросторових даних, які можуть включати в себе земельно-кадастрову, екологічну, економічну, демографічну, структурну, наукову та іншу інформацію, а інтеграція часових даних дає змогу учасникам проекту краще зрозуміти наслідки проектних рішень до, під час та після будівництва або реконструкції об'єкта.

Спільне використання можливостей BIM та GIS технологій дає переваги при просторовому плануванні та проектуванні, оскільки реальні об'єкти розташовані в геоінформаційному просторі. Застосування GIS-технологій дозволяє використовувати дані інженерно-геодезичних вишукувань та планово-картографічні матеріали проектів спеціалістам із різних сегментів життєвого циклу будівництва.

GIS розширює цінність BIM за рахунок можливостей аналітичного апарату та візуалізації та інтегруючи в процес проектування геопросторові дані, географічна інформація стає важливим компонентом усього процесу прийняття рішень у будівництві та реконструкції і дозволяє кожному учаснику здійснювати найбільш ефективний внесок [7].

Введення в BIM-моделювання геоприв'язки дозволяє розглядати роботи з просторового планування та будівництва в геопросторовому контексті. Це не тільки дає можливість правильно розташовувати об'єкти на топографічній поверхні, а й допомагає у створенні розумних будинків, які максимально використовують природне освітлення і контроль температури, тим самим знижуючи навантаження на споживання енергії і сприяючи збереженню ресурсів. Також GIS може дати проектантам уявлення про райони, наприклад, схильні до повеней, що також впливатиме на розташування, орієнтацію і навіть будівельні матеріали об'єктів та споруд [5].

У міру формування BIM також повинна формуватися ГІС, щоб краще адаптувати й обробляти 3D-контент BIM-моделі, візуалізацію і аналіз. Інтеграція BIM і GIS підвищує ефективність всього життєвого циклу проекту будівництва та реконструкції. Переваги цієї інтеграції настільки великі, що компанії, які розробляють геоінформаційне програмне забезпечення, такі як Esri і Autodesk, працюють над поліпшеною сумісністю програмного забезпечення для BIM і GIS [7].

Наприкінці 2019 року в Україні, за даними Державної авіаційної служби, налічується 20 діючих аеропортів, 17 з яких включені до Державної цільової програми розвитку аеропортів до 2023 року, прийняту Урядом в 2016 році. Метою програми є реконструкція, модернізація і приведення аеропортів до міжнародних стандартів обслуговування пасажирів та вимог Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO).

Аеропортові комплекси багатьох країн активно використовують BIM-моделювання та GIS-системи для планування, проектування і виконання будівельних проектів; утримання та експлуатації об'єктів; управління та забезпечення безпеки; автоматизованого збору та подання даних про внутрішній і зовнішній простір будівель та споруд, цільове використання та оптимізацію простору тощо [8].

Наведемо декілька успішних прикладів використання даних лазерного сканування, BIM та GIS технологій для просторового планування, будівництва, реконструкції та управління об'єктами аеропортових комплексів:

- аеропорт Хітроу (Великобританія) – ще у 1986 році BIM-технологія була використана для проектуванні Терміналу 3, де і був вперше застосований термін Building Modeling у його нинішньому розумінні [9];

- аеропорт Абу-Дабі (ОАЕ), термінальний комплекс Midfield – проектування та всі розробки, зокрема й розрахунки конструкцій, велися тільки на основі BIM-моделі, [10];



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- аеропорт Король Халід (Ер-Ріяд, Саудівська Аравія) – було використано лазерне сканування території для створення топографічного плану та BIM-моделювання споруд при масштабній реконструкції [11];

- аеропорт Хартсфілд-Джексон в Атланті (США) – розроблена комплексна GIS, яка обслуговує всі підрозділи: експлуатаційників будівель та споруд, інженерних комунікацій та злітно-посадкових смуг; планувальників та будівельників; керівників; пасажирів тощо [12];

- аеропорт Лос-Анджелеса (США) – були використані GIS-технології і BIM-моделювання для реконструкції термінального комплексу та оновлення комунальних мереж [13];

- аеропорт Жешув Ясенка (Польща) – були використані GIS та BIM технології для проектування нової мережі руліжних проїздів із навігаційним освітленням, мережею зв'язку, каналізаційними та дренажними системами, які були вписані в існуючу інфраструктуру аеропортового комплексу та злітно-посадкової смуги [14].

Як показує практичний досвід, спільне використання BIM/GIS технологій для проектування, будівництва та реконструкції території аеропортів – це шлях до побудови комплексної інформаційної системи, яка ефективно працює протягом всього життєвого циклу об'єктів та споруд (рис. 1).

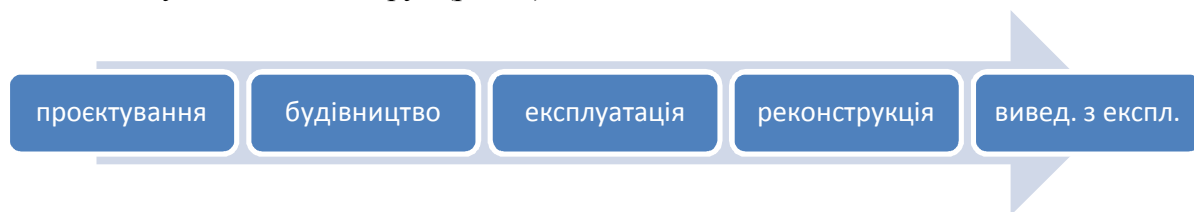


Рис. 1. Схема життєвого циклу об'єктів і споруд

Для збору геопросторових даних для BIM/GIS моделювання останніми роками набуває популярності технологія лазерного сканування, яка поділяється на наземну та повітряну (лідарну) та є ефективним інструментом, що дозволяє створювати точні копії об'єктів та територій шляхом переведу геометричних форм у математичні моделі. Це дає можливість використовувати їх у подальшій роботі під час проектування, експлуатації, управління, створення геоінформаційних систем тощо [15].

Розробкою обладнання для лазерного та лідарного сканування займається багато фірм. Найвідомішими є Trimble (США), Leica Geosystems (Швейцарія), Riegl (Австрія), Zoller + Fröhlich (Німеччина), Topcon (Японія), Faro (США), Hi-Target (Китай) та інші. Через велику різноманітність приладів та їхніх специфікацій, лазерні сканери різняться за певними технічними характеристиками, такими як скануюча платформа, метод вимірювання відстані, параметри лазера, точність вимірювання відстані та кута, кут огляду, дальність вимірювання, швидкість та щільність сканування тощо [1; 2].

Для проведення комплексу інженерно-геодезичних вишукувань для реконструкції аеропорту та збору геоданих, доцільно використовувати такі види лазерного сканування: наземне (стаціонарне і мобільне) та лідарне (з БПЛА і бортове) [15].

Розглядаючи концептуальні засади інтеграції геопросторових даних, отриманих методом лазерного сканування, у BIM та GIS системи, можливо виділення напрямів інтеграції даних: дані лазерного сканування в GIS-системи, дані лазерного сканування в BIM-моделі, BIM/GIS інтеграція (рис. 2).

У даних лазерної та лідарної зйомки, крім геопозиційних значень  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , системою зберігається додаткова інформація і для кожного лазерного імпульсу записуються та зберігаються такі атрибути: інтенсивність, номер відбиття, кількість відбитих сигналів, значення класифікації точки, крайні точки лінії польоту, кольорові RGB-значення, час по GPS, інформація про внутрішнє позиціонування (INS), кут та напрямлення сканування [16].



Рис. 2. Концептуальна схема інтеграції геопросторових даних території аеропорту в BIM та GIS системи

Для первинної обробки, геоприв'язки та «зшивки» отриманих хмар точок використовуються програмні комплекси типу Cyclone-REGISTER от Leica Geosystems. Додатково на цьому етапі робіт є можливість сформувати карту сферичних панорам об'єкта, яка дозволяє проглядати панорами з будь-якої станції сканування, а також проводити виміри, залишати анотації тощо. Отримана хмара точок експортується для подальшої обробки в програмний продукт, типу Autodesk ReCap, який містить велику кількість налаштувань для керування хмарию (видалення точок, редагування інтенсивності кольору тощо) і дозволяє вийти на необхідний рівень деталізації для побудови BIM-моделі.

Далі хмара точок експортується або в програми BIM-моделювання, або в GIS-програми для подальшого опрацювання залежно від технологічних завдань. На цьому етапі не виникає проблем з інтеграцією даних лазерного сканування, оскільки ArcGIS, Revit, Civil 3D, Credo, Bentley, Allplan та багато інших програм напряму зчитують файли, що забезпечує швидкий доступ до даних через відсутність необхідності конвертації та імпорту.

BIM та GIS простір мають багато спільного, але і різняться в цілях збору даних, способах геометричного моделювання ідентичних об'єктів, рівні деталізації, програмним забезпеченням та їх відкритих стандартів. Виділяється три проблеми, які необхідно вирішити при інтеграції інженерних та GIS рішень [17]:

- семантика – різними термінами та наборами атрибутивної інформації визначаються ті ж самі об'єкти в BIM та GIS;
- топологічні відносини – різні підходи до топології, GIS використовує точки, лінії і полігони; CAD/BIM використовує сплайни, параметричні криві, тощо;
- формати даних і стандарти – GIS використовує шейп-файли, GML і CityCML; CAD/BIM використовує DWG, DGN, RVT файли і IFC.

Компанії Autodesk та Esri проводять роботи щодо об'єднання даних інформаційних моделей та геоінформаційних систем. Це дозволяє генерувати інформацію із BIM та GIS для створення більш взаємопов'язаної інфраструктури, використовувати дані для проектування, будівництва та реконструкції в контексті реальної території. Рішення для інтеграції сконцентровані переважно на відображенні семантичних даних, опис яких не повністю стандартизований в BIM/GIS; на перетворенні геометричних об'єктів.

Аналізуючи сучасні схеми BIM/GIS інтеграції на основі програмного забезпечення для інформаційного моделювання Autodesk (Revit) і створення геоінформаційних систем Esri (ArcGIS), можна виділити дві концепції інтеграції моделей BIM в GIS, які в основному застосовуються.

Однією з них є перетворення даних інформаційних моделей за допомогою програмного забезпечення Feature Manipulation Engine (FME), яке інтегрує моделі BIM у форматі IFC (Industry Foundation Classes) в ArcGIS з розширенням взаємодії даних ArcGIS.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Інший спосіб інтеграції – пряме зчитування BIM-моделей Autodesk програмним забезпеченням ArcGIS Pro. Це перша розробка, яка об'єднує платформи GIS і BIM за допомогою коректної інтеграції [17].

FME Desktop розроблений для інтеграції просторових і семантичних даних і є ідеальним доповненням будь-якої геоінформаційної системи та забезпечує конвертацію даних більш ніж 200 форматів САПР, GIS, СУБД і растрових даних. Початково IFC формат був запроваджений для комплексів Autodesk Revit та Tekla, але поступово став буфером обміну повних даних без втрати інформаційного наповнення. Також FME Desktop виконує перетворення систем координат і проєкцій; перетворення даних із використанням бібліотеки з більш ніж 300 перетворювачів даних (transformers), створення власних елементів і їхніх атрибутів без необхідності кодування для реорганізації, перетворення і модифікації; здійснює об'єднання і поширення даних по мережах Інтранет / Інтернет [18].

У межах реалізації в Голландії 3D-кадастрового стандарту, що розробляється Національним комітетом по інфраструктурі геоданих, запроваджено проєкт з оновлення OGC CityGML стандарту, який засновано на GeoBIM та IFC стандартах. У 2015 році компанія Esri випустила нові інструменти, які забезпечують інтеграцію без втрат для 21 CityGML класу просторових об'єктів в інформаційній моделі 3D City.

Стандарт CityGML відкритого геопросторового консорціуму (OGC) широко використовується в усьому світі для зберігання віртуальних 3D-моделей, які можуть бути загальними для різних програм, починаючи від планування, архітектурно-будівельного проєктування до моделювання умов навколишнього середовища і управління будівлями та об'єктами [17].

Загалом, запропоновані концептуальні засади інтеграції геопросторових даних аеропортів спрямовано на вироблення принципів управління територіями з урахуванням сучасних містобудівних, архітектурних, екологічних і конструктивних вимог, щодо збереження та розвитку сучасних об'єктів транспортної інфраструктури і забезпечення їх нормальної та безпечної експлуатації. З урахуванням нових умов землекористування та розвитку територій, із трансформацією процесів проєктування, будівництва та експлуатації сучасних об'єктів транспортної інфраструктури на основі вдосконалення новітніх цифрових технологій, виняткового значення здобуває науково-технічне обґрунтування основних етапів процесу сучасного територіального розвитку, дієвість і ступінь реалізації містобудівних рішень на основі створення та розвитку ефективних методів як основи проєктно-планувальних робіт з метою підвищення якості їх розробки й обґрунтованості прийнятих рішень [19].

**Висновки відповідно до статті.** Висновками цього дослідження є:

1. Лазерне та лідарне сканування активно використовується у світі під час проведення інженерно-геодезичних вишукувань для збору геопросторових даних при виконанні робіт із реконструкції, модернізації або будівництва злітно-посадкових смуг, будівель та споруд. Для територій аеропортів доцільно використовувати методи наземного (стаціонарного та мобільного) та лідарного знімання. Після попередньої обробки у відповідних програмних продуктах отримані дані без втрат якості інтегруються в BIM та GIS середовище.

2. Сучасні геоінформаційні технології, BIM-моделювання та GIS-системи дедалі частіше використовуються для проведення комплексу робіт із просторового планування, проєктування, будівництва та реконструкції аеропортів. Під час виконання комплексу робіт у BIM та GIS інтегруються різні технологічні напрямки, такі як 3D-моделювання, модель-орієнтовне проєктування, побудова й аналіз різного роду поверхонь, дані лазерного та лідарного сканування, реалізація 3D-середовища для візуалізації тощо. Проблемою BIM/GIS інтеграції займаються провідні виробники програмного забезпечення, такі як Autodesk, і Esri. Проблеми, які вирішуються при BIM/GIS інтеграції даних – семантична та топологічна розбіжність, різні формати даних.

3. У дослідженні розроблена концептуальна схема інтеграції геопросторових даних території аеропорту, отриманих шляхом лазерного та лідарного сканування в BIM та GIS системи. Комбінований BIM/GIS підхід є ключовою світовою тенденцією та вимо-

гою часу при виконанні робіт з просторового планування, проектування, будівництва та реконструкції, тобто протягом всього життєвого циклу об'єкта.

4. Запропоновані концептуальні засади можуть бути використані у виробленні генеральних планів та проектів детального планування як основних документів, що визначають і вирішують проблеми комплексного територіального планування, а також як основи науково-технічного обґрунтування рішень із проектування, будівництва та експлуатації сучасних об'єктів транспортної інфраструктури на основі створення та розвитку ефективних геоінформаційних технологій.

#### Список використаних джерел

1. Шульц Р. В. Теорія і практика використання наземного лазерного сканування в задачах інженерної геодезії: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Київський нац. ун-т будівництва і архітектури. Київ, 2012. 32 с.
2. Малицький А., Лозинський В. Лозинський В. Аналіз наземних лазерних 3D-сканерів та сфера їх застосування. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2014. Вип. I (27). С. 21-25.
3. Коцаб М., Вілім Д., Лехнер І., Радей К., Дрбал А. Роль геодезистів у будівництві методом BIM. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. 2019. Вип. II (38). С. 15-19.
4. Shimonti P. BIM adoption around the world: how good are we? URL: <https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we>.
5. Arup Dasgupta Integration of BIM and geospatial systems still a distant dream. URL: <https://www.geospatialworld.net/article/integration-of-bim-and-geospatial-systems-still-a-distant-dream>.
6. Кріс Ендрюс Міфи та реалії інтеграції BIM – ГІС. URL: <https://uk.geofumadas.com/%D0%9C%D1%96%D1%84%D0%B8-5-96%D1%97-5-97-bim-gis>.
7. Don Kuehne, Chris Andrews Increasing interest in the fusion of GIS and BIM. URL: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/increasing-interest-in-the-fusion-of-gis-and-bim>.
8. Бойко О. Л. Геоінформаційні системи аеропортових комплексів на основі ArcGis. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. 2018. Вип. 68. С. 656–665.
9. Білик А. С., Беляєв М. А. BIM моделювання. Огляд можливостей та перспективи в Україні. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2015. № 2. С. 9-15.
10. Anne Busson. BIM-driven Approach Enhances ROI on Midfield Terminal at Abu Dhabi Airport. URL: <https://informedinfrastructure.com/-12971/bim-driven-approach-enhances-roi-on-midfield-terminal-at-abu-dhabi-airport>.
11. Топографическая съемка территории аэропорта Король Халид, Эр-Рияд, Саудовская Аравия методом лазерного сканирования. URL: <http://trimetari.com/ru/proekty/geodeziya-i-markshejderiya/topograficheskaya-semka-territorii-aeroporta>.
12. Самый загруженный аэропорт в мире высоко взлетает с помощью ГИС. *ArcReview*. 2016. № 1(76). URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=23334&SECTION\\_ID=1088](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=23334&SECTION_ID=1088).
13. ГИС как стратегический компонент масштабной модернизации аэропорта Лос-Анджелеса. *ArcReview*. 2019. № 2 (89). URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=27218&SECTION\\_ID=1117](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=27218&SECTION_ID=1117).
14. Проектування в аеропорту Жешув-Ясенка. URL: [https://www.bentley.com/ru/project-profiles/bbks-projekt-sp-z-oo\\_taxiways-at-rzeszow-jasionka-airport](https://www.bentley.com/ru/project-profiles/bbks-projekt-sp-z-oo_taxiways-at-rzeszow-jasionka-airport).
15. Бойко О. Л., Ляшенко Д. О., Горб О. І. Розробка концептуальної моделі збору геопросторових даних регіональних аеропортів методами лазерного сканування для створення ГІС. *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник*. Київ: КНУБА, 2019. Вип. 71. С. 60–71.
16. ArcGIS Resources. URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/index.html#/na/018m0000002000000>.
17. Куприяновский В. П., Тищенко П. А., Синягов С. А., Раевский М. А., Юдицкий А. А. Применение комбинированных технологий BIM-ГИС в строительной отрасли для различных категорий заинтересованных лиц: Обзор состояния в мире. *ArcReview*. 2015. № 2 (73). URL: [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=21945&SECTION\\_ID=1078](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=21945&SECTION_ID=1078).
18. Dr. Andreas Carstens. BIM & GIS – New Dimensions of Improved Collaboration for Infrastructure and Environment. *Journal of Digital Landscape Architecture*. 2019. № 4. P. 114-121.
19. Prusov D. The Concept of the Urban Areas Reconstruction Planning on the Basis of the Scientific and Engineering Substantiation. *Proceedings of the National Aviation University*. 2014. Vol. 60, No. 3. P. 54–58.

## References

1. Shults, R. V. (2012). *Teoriia i praktyka vykorystannia nazemnoho lazernoho skanuvannia v zadachakh inzhenernoi heodezii [Theory and practice of using ground-based laser scanning in engineering surveying]*. Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].
2. Malitskyi, A., Lozynskyi, V. (2014). Analiz nazemnykh lazernykh 3D-skaneriv ta sfera yikh zastosuvannia [Analysis of ground-based 3D laser scanners and their scope]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, I (27), 21-25 [in Ukrainian].
3. Kotsab, M., Vilim, D., Lekhner, Yi., Radei, K., Drbal, A. (2019). Rol heodezystiv u budivnytstvi metodom BIM [The role of surveyors in construction by the BIM method]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and production*, II (38), 15-19 [in Ukrainian].
4. Shimonti, P. (2018). BIM adoption around the world: how good are we? Retrieved from <https://www.geospatialworld.net/article/bim-adoption-around-the-world-how-good-are-we>.
5. Arup Dasgupta (n.d.). Integration of BIM and geospatial systems still a distant dream. Retrieved from <https://www.geospatialworld.net/article/integration-of-bim-and-geospatial-systems-still-a-distant-dream>.
6. Kris Endrius Mify ta realii intehtatsii BIM – GIS [Myths and realities of BIM – GIS integration]. Retrieved from <https://uk.geofumadas.com/%D0%9C%D1%96%D1-%84%D0%B8-5-96%D1%97-5-97-bim-gis>.
7. Don Kuehne, Chris Andrews (2016). Increasing interest in the fusion of GIS and BIM. Retrieved from <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/3d-gis/3d-gis/increasing-interest-in-the-fusion-of-gis-and-bim>.
8. Boiko, O. L. (2018). Heoinformatsiini systemy aeroportovykh kompleksiv na osnovi ArcGis [Geoinformation systems of airport complex based on ArcGis]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, 68, 656-665 [in Ukrainian].
9. Bilyk, A. S., Beliaiev, M. A. (2015). BIM modeliuvannia. Ohliad mozhlyvosti ta perspektyvy v Ukraini [BIM modeling. Overview of opportunities and prospects in Ukraine]. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy – Industrial construction and engineering*, 2, 9-15 [in Ukrainian].
10. Anne Busson (n.d.). *BIM-driven Approach Enhances ROI on Midfield Terminal at Abu Dhabi Airport*. Retrieved from <https://informedinfrastructure.com/-12971/bim-driven-approach-enhances-roi-on-midfield-terminal-at-abu-dhabi-airport>.
11. *Topografycheskaia sʹemka terrytorii aeroporta Korol Khalid, Er-Ryad, Saudovskaia Aravyya metodom lazernoho skanyrovannia [Topographic survey of King Khalid Airport, Riyadh, Saudi Arabia by laser scanning]*. Retrieved from <http://trimetari.com/ru/proekty-geodeziya-i-markshejderiya/topograficheskaya-semka-territorii-aeroporto>.
12. Samui zahrzhennui aeroport v mire vusoko vzletaet s pomoshchiu GIS [The busiest airport in the world is taking off with GIS] (2016). *ArcReview*, 1(76). Retrieved from [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=23334&SECTION\\_ID=1088](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=23334&SECTION_ID=1088).
13. GIS kak stratehicheskyi komponent masshtabnoi modernyzatsyy aeroporta Los-Andzhelesa [GIS as a strategic component of a major modernization of Los Angeles Airport] (2019). *ArcReview*, 2 (89). Retrieved from [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=27218&SECTION\\_ID=1117](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=27218&SECTION_ID=1117).
14. *Proektuvannia v aeroportu Zheshuv-Yasenka [Design at Rzeszow-Yasenka Airport]*. Retrieved from [https://www.bentley.com/ru/project-profiles/bbks-projekt-sp-z-oo\\_taxiways-at-rzeszow-jasionka-airport](https://www.bentley.com/ru/project-profiles/bbks-projekt-sp-z-oo_taxiways-at-rzeszow-jasionka-airport).
15. Boiko, O. L., Liashenko, D. O., Horb, O. I. (2019). Rozrobka kontseptualnoi modeli zboru heoprosoroykh danykh rehionalnykh aeroportiv metodamy lazernoho skanuvannia dlia stvorennia GIS [Conceptual model for geospatial data collection using laser scanning methods for GIS creation]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, 71, 60–71 [in Ukrainian].
16. ArcGIS Resources. Retrieved from <http://resources.arcgis.com/ru/help-main/10.2/index.html#/na/018m0000002000000>.
17. Kupryianovskiy, V. P., Tyshchenko, P. A., Syniahov, S. A., Raevskiy, M. A., Yudytskyi, A. A. (2015). Prymenenye kombynyrovannukh tekhnolohiy BIM-GIS v stroytelnoi otrasly dlia razlychnukh katehoriy zaýnteresovannykh lyts: Obzor sostoianiya v mire [Applying BIM-GIS Combined Technologies in the Construction Industry for Different Categories of Stakeholders: A World Situation Survey]. *ArcReview*, 2 (73). Retrieved from [https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=21945&SECTION\\_ID=1078](https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=21945&SECTION_ID=1078).

18. Dr. Andreas Carstens. (2019). BIM & GIS – New Dimensions of Improved Collaboration for Infrastructure and Environment. *Journal of Digital Landscape Architecture*, 4, 114-121.

19. Prusov D. (2014). The Concept of the Urban Areas Reconstruction Planning on the Basis of the Scientific and Engineering Substantiation. *Proceedis of the National Aviation University*, 60 (3), 54–58.

UDC 528.48:69

Olena Boiko, Dmytro Lyashenko, Dmytro Prusov

## CONCEPTUAL FUNDAMENTALS OF AIRPORT BIM /GIS SPATIAL DATA INTEGRATION RECEIVED BY LASER SCAN

**The urgency of the research.** Nowadays the transport infrastructure design, construction, and operation are improved. It depends on the active development of digital technologies: Global navigation satellite systems, digital photogrammetry, lidar, and laser imaging. Geospatial data are used in geoinformation systems (GIS) and computer-aided design (CAD) systems. The approaches to these technologies integration are in need of research.

**Target settings.** This important scientific problem consists of spatial data integrating ways. The goal is to establish building information models (BIMs) and GIS geoinformation models connections. Nowadays, when BIM is used mainly for the design and reconstruction of construction sites, GIS addresses a much wider range of spatial planning and management tasks.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The paper analyzed and summarized publications on the subject: the experience of construction information models (BIM) and geoinformation models of GIS implementation in the airport's studies.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** After the stage of geospatial data capture with the help of different sensors (GNSS, UAV, laser scanners), the data is imported into CAD or GIS. Different software products are used to work with both models. Also, the process of data organizing in the process of Building Information Models (BIM) and Geoinformation Models (GIS) creating is different. The integration of such models has not been researched yet. That is why this question could be investigated.

**The research objective.** The question of integration of semantics, topology, formats, and standards of geospatial data in the process of spatial data integration, is required. An important task is to develop and study the experience of software modules that allow integrating (BIM) models into the environment of geoinformation systems (GIS).

**The statement of basic materials.** Autodesk and Esri are leaders in data-model integration and geoinformation systems building. The paper determines the relevance of the Feature Manipulation Engine (FME) module, which integrates BIM models in the Industry Foundation Classes IFC format in ArcGIS. An important area of further technology development is the introduction of the Open Space Consortium (OGC) standards in the production of the CityGML standard. This standard is promising for storing virtual 3D models that may be common to CAD and GIS.

**Conclusions.** In the article the development of technologies that enable more interconnected infrastructure creation is proposed. The question consists of the BIM and GIS model integration for spatial data infrastructure (SDI) creation.

**Keywords:** geospatial data; geoinformation systems (GIS); building information models (BIM); BIM/GIS integration; laser and lidar scanning, transport infrastructure; airports; construction; reconstruction; geospatial data infrastructures (SDI).

Fig.: 2. References:19.

**Бойко Олена Леонідівна** – старший викладач кафедри землеустрою та кадастру, Національний авіаційний університет (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03058, Україна).

**Boiko Olena** – Senior Lecturer at the Department of Land Planning and Cadastre, National Aviation University (1 Kosmonavta Komarova Av., 03058 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** boyko\_olena@ukr.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8654-9392>

**Ляшенко Дмитро Олексійович** – доктор географічних наук, старший науковий співробітник, доцент, професор кафедри проектування доріг геодезії та землеустрою, Національний транспортний університет (вул. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 02000, Україна).

**Lyashenko Dmytro** – Doctor of Geographical Sciences, Senior Researcher, Associate Professor, Professor of the Department of Road Design, Geodesy and Land Management, National Transport University (1 Omelyanovich-Pavlenka Str., 02000 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** uageo@ua.fm

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5588-0322>

**ResearcherID:** G-9756-2011

**Прусов Дмитро Едуардович** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, завідувач кафедри будівництва та інформаційних технологій, Інститут інноваційної освіти Київського національного університету будівництва і архітектури (вул. Освіти, 4, м. Київ, 03037, Україна).

**Prusov Dmytro** – Doctor of Technical Sciences, Prof. Dr. Habil., Senior Researcher, Associate Professor, Head of the Department of Construction and Information Technologies, the Institute of Innovative Education of the Kiev National University of Construction and Architecture (4 Osvity Str., 03037 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** d.e.prusov@gmail.com

**ORCID:** 0000-0002-1720-2798

**ResearcherID:** AAA-6936-2019

Максим Болотов, Геннадій Болотов, Ірина Прибитько, Микола Корзаченко

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ КОРОЗІЙНОЇ СТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОНУ

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні питання корозійної стійкості бетонних та залізобетонних конструкцій (ЗБК) є актуальними в усьому світі, оскільки ступінь корозійного захисту таких конструкцій визначає терміни їх експлуатаційної придатності та рівень стійкого розвитку будівельних процесів загалом.

**Постановка проблеми.** Природно-кліматичні зони України характеризуються певною неоднорідністю як за температурою, так і за кількістю річних опадів, що часто стають причиною протікання певних деструкційних процесів у залізобетоні, здебільшого пов'язаних із кородуванням металевої арматури і, як наслідок, суттєвого зниження термінів її експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблеми корозії арматури залізобетону прикута увага багатьох вітчизняних та закордонних учених. Зокрема, значна увага приділяється способам підвищення щільності цементного каменю бетону, як активного сорбенту вологи із навколишнього середовища та транспортера її до металевої арматури. Також вказується на значний вплив температури навколишнього середовища (повітря) на швидкість протікання хімічних та електрохімічних процесів, що спричиняють корозію арматури та закладних елементів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених корозійним процесам бетону та залізобетону, на сьогоднішній день не вдається в повній мірі виділити той чи інший спосіб запобігання корозії, як найбільш дієвий. На нашу думку, це пов'язано насамперед із відсутністю будь-яких систематизованих даних стосовно сучасних засобів боротьби проти корозії ЗБК, що дозволять значно збільшити строки їх експлуатації.

**Мета роботи.** У зв'язку з цим, метою цієї роботи є аналіз способів підвищення терміну експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах агресивних атмосферних впливів.

**Виклад основного матеріалу.** Проаналізовано основні способи зниження рівня поруваності цементного каменю бетону на етапі його виготовлення з використанням різного роду модифікуючих добавок, та на етапі експлуатації залізобетонної конструкції шляхом його гідрофібрізації та кальматації. Наведено наслідки тривалих корозійних впливів на металеву арматуру залізобетону та способи їх запобігання, переважно пов'язаних із просоченням арматури мігруючими інгібіторами корозії. Наведено передумови використання композитної арматури в якості альтернативи металевій.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що основним джерелом корозії бетонних та залізобетонних конструкцій є каплярно-пориста структура цементного каменю бетону, що служить активним стоком вологи та різного роду хімічних домішок. Встановлено, що найбільш дієвим способом запобігання корозії металевої арматури нині є використання так званих мігруючих інгібіторів корозії, що на відміну від інших способів (гідрофібрізації та кальматації) забезпечує надійний тривалий захист металевих стержнів від взаємодії із навколишнім середовищем.

**Ключові слова:** бетон; залізобетон; корозія; експлуатаційна довговічність; арматура.

Рис.: 7. Бібл.: 22.

**Актуальність теми дослідження.** Нині бетонні та залізобетонні конструкції є незамінною складовою будь-якого будівництва, що обумовлено передусім його високими експлуатаційними якостями, надійністю, швидкістю зведення тощо. Однак багаторічний досвід використання бетонних систем поряд із перевагами визначив і недоліки, пов'язані насамперед зі стрімким погіршенням технічного та експлуатаційного станів залізобетонних конструкцій (ЗБК) внаслідок значних корозійних впливів зі сторони атмосфери та ґрунту (ґрунтова корозія) в результаті просочення бетону ґрунтовими водами [1]. При цьому відбувається ціла низка деструкційних процесів, здебільшого пов'язаних із вилуговуванням та карбонізацією компонентів бетону з утворенням у його структурі комплексу легкорозчинних солей, що значно знижують тривалість безвідмовної експлуатації залізобетонних конструкцій. Отже, питання корозійної стійкості бетону та залізобетону є актуальними по всьому світі.

**Постановка проблеми.** Природно-кліматичні умови експлуатації залізобетонних конструкцій чинять суттєвий вплив на їх довговічність, оскільки в різних кліматичних умовах протікають певні фізичні процеси, що носять руйнуючий вплив на бетонні конструкції, серед них цикли зволоження та висушування, заморожування та відтавання, а також значні температурні коливання [2].

Зокрема, природні зони України характеризуються значними коливаннями за кількістю річних опадів у різних її регіонах. Найбільша кількість опадів спостерігається в Західних регіонах України понад 1000 мм/рік, у той час як сухостепова зона із середньою кількістю опадів до 400 мм/рік спостерігається від пониззя Південного Бугу (Миколаївська обл.) до Кримського півострова (рис. 1).

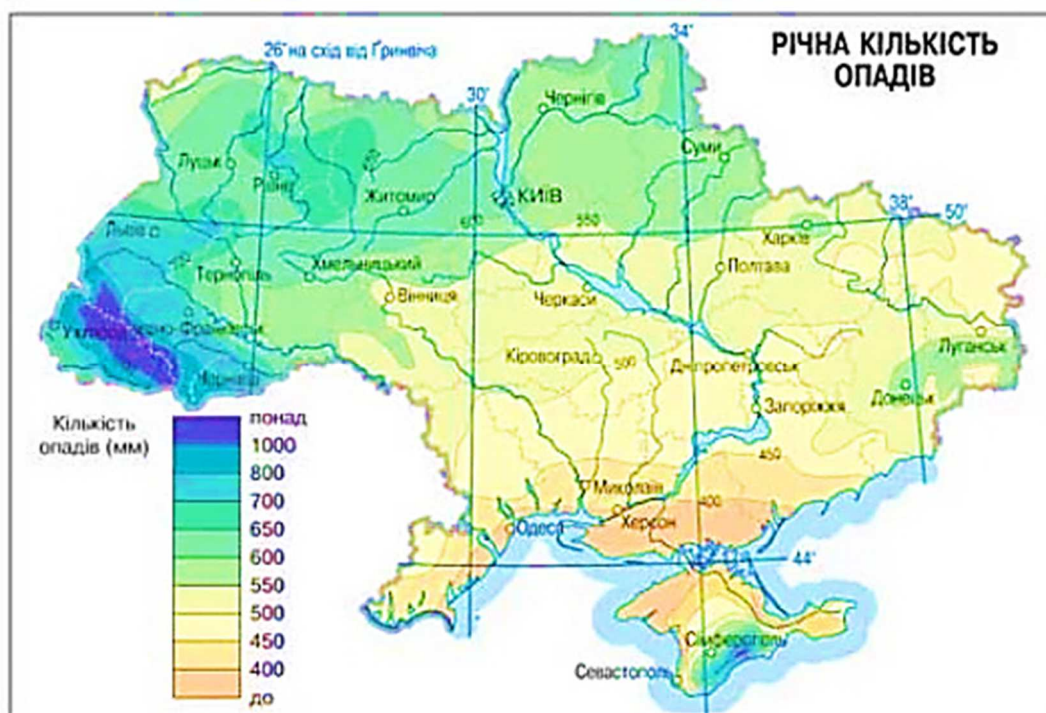


Рис. 1. Карта опадів в Україні

Джерело: [3].

Разом із цим змінюється і ґрунтовий шар України, який на 40 % складається із дерево-підзолистого ґрунту та сірих лісових ґрунтів, що концентруються, здебільшого на Поліссі й характеризуються невеликим вмістом гумусу (1,5...3,0 %), та 60 % чорноземних та каштанових і темно-каштанових ґрунтів, що в комплексі із солонцями концентруються в степовій частині нашої держави й характеризуються значним вмістом легкорозчинних солей (вертисолей, літосолей). Потужність гумусового шару таких ґрунтів зазвичай дуже велика і коливається від 40 см до 1 метра.

Температурні впливи також є визначальними з погляду експлуатаційної довговічності ЗБК. Для України загалом характерна певна неоднорідність температур, що особливо проявляється в літній період. Так, у північних її регіонах спостерігається коливання температур в межах від 25 до 30 °С, у той час як на Півдні України та АР Крим температура варіюється в межах від 35 до 45 °С. Такі суттєві температурні перепади негативно впливають на протяжні конструкції, наприклад підземні трубопроводи.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [4; 5], присвячених дослідженню особливостей експлуатації бетонних та залізобетонних конструкцій в агресивних середовищах наведено вирішальний вплив температури навколишнього середовища (повітря) на швидкість протікання корозійних процесів (рис. 2). Показано, що істотна різниця температур у різних регіонах може призвести до утворення термогальванічних корозійних пар у трубопроводах, що, у свою чергу, посилюють місцеву ґрунтову корозію. Також показано вплив температури на хід електрохімічної корозії, оскільки вона змінює розчинність вторинних продуктів корозії, впливає на швидкість дифузійних процесів, тощо [6]. Показано вплив температури на хід електрохімічної корозії, оскільки вона змінює розчинність вторинних продуктів корозії, впливає на швидкість дифузійних процесів тощо [7].

Усе це створює досить несприятливі умови для довговічності бетонних конструкцій. Слід зазначити, що капітальний ремонт таких конструкцій після тривалої дії корозії потребує значних фінансових витрат.



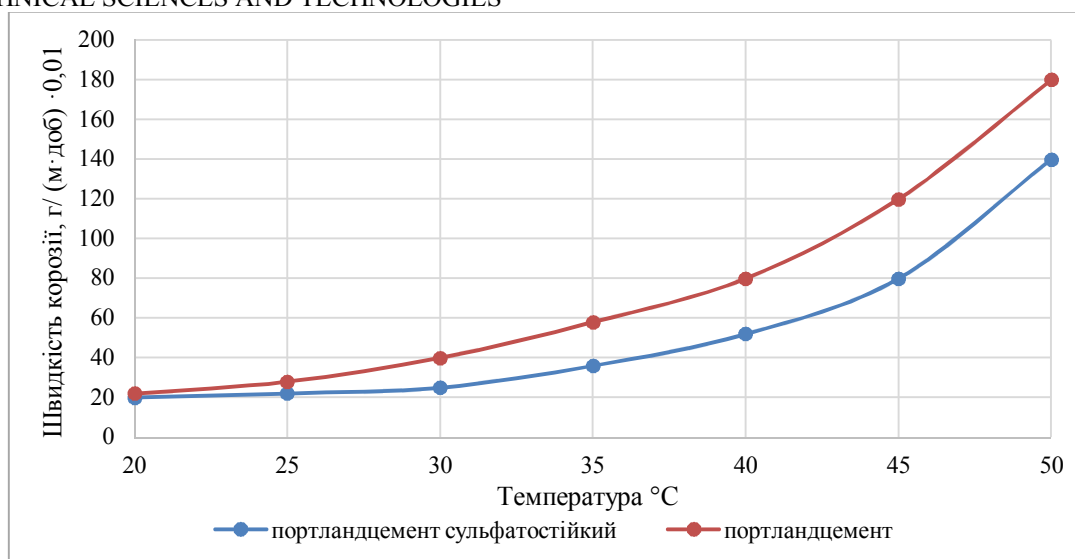


Рис. 2. Залежність швидкості корозії бетону від температури повітря

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на велику кількість публікацій, присвячених корозійним процесам бетону та залізобетону, на сьогодні не вдається повною мірою виділити той чи інший спосіб запобігання корозії як найбільш дієвий. На нашу думку, це пов'язано насамперед із відсутністю будь-яких систематизованих даних, стосовно сучасних засобів боротьби проти корозії ЗБК, що дозволять значно збільшити строки їх експлуатації.

**Мета роботи.** У зв'язку з цим метою цієї роботи є аналіз способів підвищення терміну експлуатаційної придатності залізобетонних конструкцій, що працюють в умовах агресивних атмосферних впливів.

**Виклад основного матеріалу.** Практика промислового використання ЗБК показує, що найбільш схильними до хімічної атмосферної корозії є цементний камінь, що є основою бетону та зумовлює утворення його капілярно-пористої структури. Останнє, у свою чергу, слугує своєрідним стоком вологи та агресивних компонентів і активним транспортером їх до металевої арматури. Зокрема, швидкість корозії цементного каменю визначається ступенем його гідратації, що зумовлений наявністю на його поверхні системи макро- ( $d_p > 0,05$  мкм) та мікропор ( $d_p < 0,001 \dots 0,002$  мкм).

Однак у роботі [8] показано, що в процесі експлуатації ЗБК, навіть за умови відсутності шкідливих впливів, у матеріалі бетону будуть переважати саме макропори. Це, у свою чергу, істотно підвищує ризики розвитку хімічної та електрохімічної корозії.

Отже, основні заходи, спрямовані на зниження вірогідності утворення корозії цементного каменю, так чи інакше, зводяться до зниження його водопоглинання. Як показано в [9] останнє досягається шляхом створення кристалізаційного бар'єра гідрофібізацією, тобто наданням поверхні бетону водовідштовхуючих властивостей шляхом адсорбції на її поверхні спеціальних реагентів – гідрофібізаторів, поліорганосилаксани (кремнійорганічної емульсії), або кальматацією, тобто заповненням існуючих на поверхні матеріалу відкритих пор спеціальними кальматуючими інгредієнтами, що носять назву «Дегідрол» [10].

Цей спосіб запобігання корозії не є ефективним за умови існування дефектів щільності бетону, таких як тріщини, розвиток яких ще триває, також він носить скоріше тимчасовий характер, оскільки з часом ці композиції вимиваються водою, що потребує періодичного (раз в 2-3 роки) поновлення гідрофобних властивостей бетону.

Більш надійним з погляду довговічності отриманого результату є запобігання надмірного пороутворення ще на етапі виготовлення залізобетонної конструкції шляхом введення в бетонну суміш спеціальних добавок, так званих модифікаторів та пластифікаторів [11]. Ці добавки покликані забезпечити стійкість бетону до водонасичення шляхом зменшення кількості відкритих пор, а, також, підвищити його міцнісні властивості.

Нині значна увага вчених різних країн прикута до проблеми корозії металевої арматури та пошуку шляхів її вирішення. Корозія арматури залізобетону є одним із вирішальних факторів, що зумовлює технічний стан будівель і споруд загалом і тягне за собою багато негативних наслідків: зниження адгезії арматури й бетону; утворення тріщин та руйнування захисного шару бетону; зниження робочого перерізу арматури, що призводить до часткової або повної втрати несучої здатності елементів конструкції (рис. 3). Ці дефекти з часом стають причиною відмови роботи конструкції та її руйнування (рис. 4).

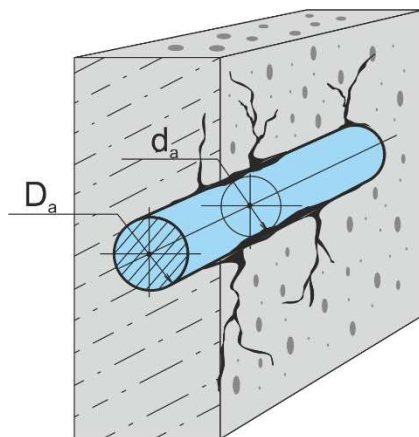


Рис. 3. Схематичне зображення тріщиноутворення в залізобетоні внаслідок корозійних впливів на металеву арматуру:

$D_a$  - розрахунковий переріз арматури;  $d_a$  - зменшений переріз арматури внаслідок тривалої дії корозії



Рис. 4. Руйнування залізобетонних конструкцій внаслідок тривалих корозійних впливів

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Так, у роботах [12; 13] розглянуто способи захисту арматури залізобетону шляхом створення лакофарбових захисних покриттів на поверхні арматури або нанесенням сполучної епоксидної смоли. Такі покриття є досить кислототривкими та можуть витримувати тривалий контакт із агресивним навколишнім середовищем. Однак суттєвим недоліком лакофарбових покриттів є їх недовговічність. З часом вони можуть відшаруватись і, власне, стати причиною порушення зчеплення бетону із поверхнею арматури. Використання епоксидних смол, також не знайшло широкого промислового поширення внаслідок їх дорожнечі та досить трудомісткої технології їх нанесення.

У роботах [14; 15] наведено досвід застосування мігруючих інгібіторів корозії (МІК) для захисту арматури від шкідливих атмосферних впливів. Механізм дії таких речовин суттєво відрізняється від запропонованих раніше. Проникаючи крізь структурні мікронещільності бетону, вони просочують поверхню арматури, утворюючи на ній захисний мономолекулярний шар, тим самим уповільнюючи дію корозії за умови попередньої появи корозійних осередків або перешкоджаючи їх появі в майбутньому.

У зв'язку з цим ефективність дії таких речовин розглядається з погляду ступеня захисту арматури від корозії ( $Z$ , %), що визначається як [16]:

$$Z = \left[ \frac{K_1 - K_2}{K_1} \right] \cdot 100 = \left[ \frac{i_1 - i_2}{i_1} \right] \cdot 100, \quad (1)$$

де  $K_1$ ,  $K_2$  – швидкість корозії (розчинення) металу в середовищі без інгібітора і з ним [г/(м<sup>2</sup> · год)];  $i_1$ ,  $i_2$  – щільність корозійного струму в середовищі без інгібіторів та з інгібіторами, відповідно [А/см<sup>2</sup>];

та коефіцієнта гальмування корозійних впливів ( $\gamma$ ):

$$\gamma = \frac{K_1}{K_2} = \frac{i_1}{i_2}, \quad (2)$$

Цей коефіцієнт вказує на ступінь гальмування корозії під дією інгібітора.

У роботі [17] наведено результати експериментального застосування інгібітора корозії на основі амінів та солей бензойних кислот з метою визначення його впливів на швидкість корозійних процесів в арматурі та закладних елементів залізобетону. Відрізки арматурного дроту виконаних зі сталі Ст3сп діаметром 5 мм завдовжки 100 мм зачищалися до металевого блиску та знежирювалися етиловим спиртом. Зразки розміщувалися в металевій опалубці таким чином, щоб оголені кінці арматури на 10 мм виступали за межі опалубки. Потім опалубку заповнювали бетонною сумішшю з цементно-піщано-водяним співвідношенням 1:2:0,4. Зразки витримувалися протягом 10 діб потім здійснювали розпалублення конструкції та поміщення її в корозійне середовище.

На рис. 5 наведено результати сколів залізобетонних зразків без просочення інгібіторами та з просоченням. Як збудник корозії виступав розчин хлоридів соляної кислоти.



Рис. 5. Дослідження антикорозійних властивостей інгібіторної суміші:  
а – без просочення; б – з просоченням МІК

Як видно з рис. 5, на зразку без просочення спостерігається суттєвий шар продуктів корозії, в той час як поверхня просоченого зразка зберігається в первинному стані.

Таким чином, застосування інгібіторних сумішей є найбільш дієвим на сьогоднішній день способом захисту металевих арматур від шкідливих впливів агресивних середовищ, що дозволяє значно подовжити строки її експлуатації.

Разом із тим середній термін придатності металевих арматур до її корозійного руйнування в залежності від експлуатаційних умов коливається в межах від 5 до 20 років. Прагнення підвищити терміни експлуатаційної придатності бетонних конструкцій в умовах впливу агресивних середовищ призвели до пошуку альтернатив металевій арматурі.

Так, в середині 70-х років ХХ століття Канадські науковці вперше звернули увагу на властивості композитних матеріалів в якості армуючих елементів. Уже тоді у своїх роботах [18; 19] вони відзначали значну перевагу композитних стержнів над металевими, що зумовлено насамперед їх експлуатаційною надійністю та довговічністю; економічною вигодою (що становить понад 50 % у разі заміни металевих на склопластикові); простотою транспортування; відмінними міцнісними характеристиками (що на розтяг не поступаються, а навіть переважають металеві зразки [20]); стійкістю до різких температурних перепадів та головне, вони не схильні до корозії в умовах агресивних впливів навколишнього середовища, що виключає необхідність проведення додаткових заходів щодо забезпечення корозійної стійкості. Усе це вказує на потенційну ефективність її застосування при виготовленні будівельних конструкцій різного призначення в різних куточках нашої планети.

Уперше композитна арматура була застосована в канадській провінції Манітоба при будівництві залізничного моста «Headingley» (рис. 6, а) [21]. У подальшому композитні прутки набувають широкого застосування також у Канаді, при будівництві дорожніх покриттів, що працюють здебільшого в умовах значних агресивних впливів, оскільки канадські дороги від 6 до 8 місяців у рік рясно посипаються сіллю внаслідок значних опадів та тривалих зим.

На теперішній день арматурні композитні прутки періодичного профілю (АКП) набули значного практичного застосування по всьому світові при виконанні тунельних робіт (залізничний тунель під р. Темза, Великобританія) (рис. 6, б), будівництві портових споруд (м. Поттер Каунті, США), автодорожніх та пішохідних мостів із застосуванням попередньо напруженої вуглепластикової арматури (м. Дюсельдорф, Німеччина, м. Шербрук, провінція Квебек, Канада тощо) (рис. 6, в, г відповідно) та багато інших.



а

Рис. 6. Практичне застосування композитної арматури



б



в



г

Рис. 6. Аркуш 2

Унаслідок таких властивостей, як магнітоінертність та радіопроникність композитна арматура почала використовуватись при будівництві медичних діагностичних центрів, в яких передбачено використання радіаційного обладнання. Так, у м. Бетесда штат Меріленд (США) із використанням неметалевої арматури було побудовано цент магніто-резонансної томографії, а в британському Рочестері – будівлю медичної клініки «Майо».

Нині відомі склопластикова (АСП), базальтопластикова (АБП) та вуглепластикова (АВП), що відрізняються одна від одної матеріалом основи (матрицею) та технологією виготовлення [22]. Зокрема, склопластикова арматура виготовляється з використанням скляних волокон просочених терморезактивним або термопластичним полімером. За своїми властивостями вона дещо поступається двом іншим, але міцнісні характеристики приблизно у два рази вище ніж у металевому аналогу (рис. 7, а). Базальтові волокна разом із високими механічними властивостями володіють підвищеною стійкістю до агресивних середовищ, тобто забезпечують безвідмовну роботу в умовах більшості кислот солей та лугів (рис. 7, б). Найбільш міцною є вуглепластикова арматура. Такі стрижні забезпечують міцність на розтяг, що втричі перевершує склопластикову. Водночас вона поєднує в собі кислототривкі властивості базальтопластикової арматури (рис. 7, в). Головним недоліком вуглепластикової арматури, що обмежує її широке промислове застосування, є її ціна.

Також серед недоліків композитних прутків слід виділити низький модуль пружності (50 ГПа для полімер-композитної арматури, та 210 ГПа для металеві), що робить їх непридатними для використання без попереднього напруження при виготовленні конструкцій, що сприймають згинаючі та стискаючі навантаження, а погана адгезія таких прутків із бетоном значно уповільнює її широке промислове впровадження.

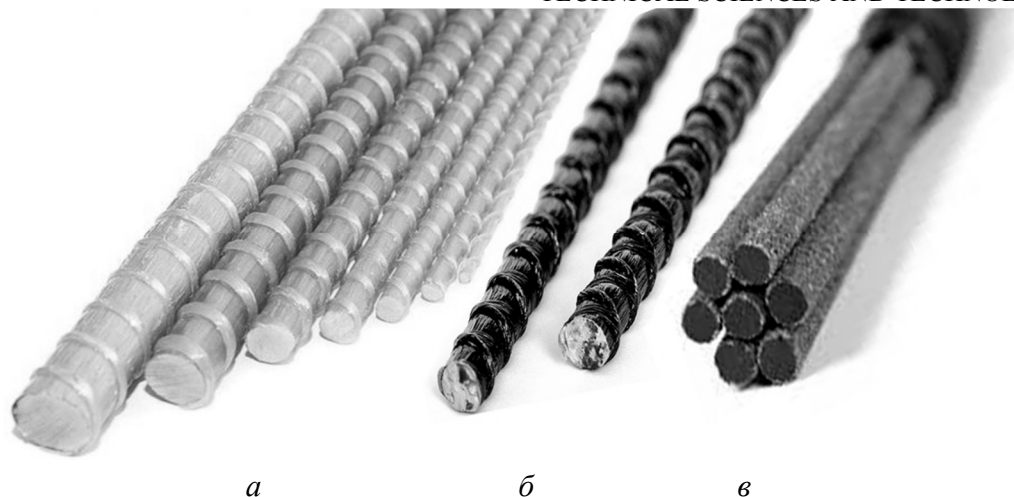


Рис. 7. Види композитної арматури:

*а – склопластикова; б – базальтопластикова; в – вуглепластикова*

В Україні застосування композитної арматури у будівельних процесах почалося лише з 2013-го року із розробкою Держстандарту (ДСТУ Н Б В.2.6- 185), що регламентує застосування неметалевих арматур для створення композито-бетонних конструкцій. Але жодних відомостей про будівництво реальних об'єктів із використанням полімер-композитних стрижнів на території України, на жаль, немає, що свідчить про недостатню розвиненість цього ринку. Очевидно це пов'язано з відсутністю повної уяви про поведінку цього матеріалу в різних експлуатаційних умовах. Також відсутні будь-які нормативні документи, які б регламентували розрахункові передумови та проєктування конструкцій із використанням композитних армуючих стрижнів.

**Висновки відповідно до статті.** Отже, можна зробити висновки, що основним джерелом корозії бетонних та залізобетонних конструкцій є капілярно-пориста структура цементного каменю бетону, що слугує активним стоком вологи та різного роду хімічних домішок і активним транспортером їх до металевої арматури. Встановлено, що найбільш дієвим способом запобігання корозії металевої арматури на сьогодні є використання так званих мігруючих інгібіторів корозії, що на відміну від інших способів просочення (гідрофібзації та кальматації) забезпечує надійний тривалий захист металевих стрижнів від взаємодії з навколишнім середовищем.

Наведено особливості та сфери застосування композитних армуючих прутків як альтернативи металевим. Показано основні переваги такої арматури, головним чином пов'язані із їх корозійною стійкістю та високими механічними властивостями. Однак необхідно враховувати і їхні основні недоліки, спричинені низьким модулем пружності та поганою адгезією з бетоном, що разом із відсутністю нормативної бази розрахунку конструкцій із використанням такої арматури значно обмежує її широке промислове впровадження.

#### Список використаних джерел

1. Болотов М. Г. Аналітичний огляд основних причин та наслідки аварій будівель та споруд, що сталися на території України за останні п'ять років. *Вісник ЧНТУ*. 2013. № 4. С. 197-204.
2. Розенталь Н. К., Степанова В. Ф., Чехний Г. В. Бетони високої корозійної стійкості и нормирование их характеристик. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 3(4). С. 14-19.
3. Основні показники клімату та пори року в Україні. URL: <https://geomap.com.ua/uk-g8/873.html>.
4. Колесник Д. Ю., Сиченко В. Г., Коваль П. М. Аналіз проблеми корозії цементобетону в атмосферних умовах і роль води у цьому процесі. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2006. Вип. 13. С. 141-160.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Москвин В. М., Иванов Ф. М., Алексеев С. Н., Гузеев Е. А. Коррозия бетона и железобетона и методы их защиты: учебник. Москва: Стройиздат, 1980. 533 с.
6. Меркулов С. И., Дворник В. М., Пахомова Е. Г. Работоспособность железобетона в условиях воздействия агрессивных сред. *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2006. № 1. С. 25.
7. Аль-Хавари Ю. Р. Анализ коррозионного разрушения железобетонных конструкций в условиях Иордании. *Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць*. 2015. Вип. 4. С. 136-140.
8. Колесник Д. Ю., Пушкарьова К. К., Шейнич Л. О. Сучасні уявлення про корозію цементного каменю в бетоні під дією води. *Науково – виробничий журнал Автошляховик України*. 2012. № 4. С. 33-37.
9. ДСТУ Б В.2.6–145:2008. Конструкції будинків і споруд. Захист бетонних і залізобетонних конструкцій від корозії. Загальні технічні вимоги (ГОСТ 31384:2008, NEQ). 48 с.
10. Карбонізація захисного шару бетону несучих конструкцій мостів / Д. Ю. Колесник та ін. *Автошляховик України*. 2005. № 2. С. 34–36.
11. Ратинов В. Б., Розенберг Т. И. Добавки в бетон. Москва: Стройиздат, 1989. 186 с.
12. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты / за ред. В. М. Москвина. Москва: Стройиздат, 1980. 536 с.
13. Штарк И., Бернд В. Долговечность бетона / перевод с нем. А. Тулганова; ред. П. В. Кривенко. Київ: Оранта, 2004. 295 с.
14. Колесник Д. Ю., Коваль П. М. Розробка і дослідження мігруючого інгібітора корозії металоарматури для залізобетону. *Нові технології в будівництві*. 2010. № 1(19). С. 67-70.
15. Лучко Й. Й., Глагола І. І., Назарович Б. Л. Метод ди підвищення корозійної стійкості та довговічності бетонних та залізобетонних конструкцій і споруд. Київ: Каменярь, 1999. 229 с.
16. Алексеев С. Н., Ратинов В. Б., Розенталь Н. К., Кашурников Н. М. Ингибиторы коррозии стали в железобетонных конструкциях. Москва: Стройиздат, 1985. 272 с.
17. Андреев Н. Н., Гедвилло И. А., Жмакина А. С., Булгаков Д. С., Старовойтова Е. В. Физико-химические принципы создания мигрирующих ингибиторов коррозии стальной арматуры в бетоне. *Вестник ТГУ*. 2013. Т. 18, вып. 5. С. 2269–2274.
18. ACI 440.1R\_06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars: Reported by ACI Committee 440. Supersedes ACI 440.1R\_03.
19. Brown V. L., Bartholomew C L. FRP reinforcing bars in reinforced concrete members. *ACI Mater. J.* 1993. № 90. P. 34–39.
20. Болотов М. Г., Болотов Г. П., Ганєєв Т. Р., Корзаченко М. М. Оцінка несучої здатності зварних з'єднань арматури залізобетону. *Технічні науки та технології*. 2017. № 1(7). С. 58-67.
21. Бенмокрэйн Б. Применение композитной арматуры в бетонных конструкциях. *NSERC Research Chair in Innovative Fibre Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Infrastructure*. 379 с.
22. Польский П. П., Майлян Д. Р. Композитные материалы – как основа эффективности в строительстве и реконструкции зданий и сооружений. *Инженерный вестник Дона*. 2012. № 4-2. С. 162.

### References

1. Bolotov, M. G. (2013). Analitichnii ogliad osnovnykh prychn ta naslidky avarii budivel ta sporud, sheho stalisia na teritorii Ukraini za ostanni piat rokov [Analytical review of the main causes and consequences of accidents of buildings and structures that occurred in Ukraine over the last five years]. *Visnyk ChNTU – Bulletin of the National Technical University*, 4, 197-204 [in Ukrainian].
2. Rozental, N. K., Stepanova, V. F., Chekhni, G. V. (2017). Betony vysokou korrozionnoi stoikosti i normirovanie ikh kharakteristik [Concretes of high corrosion resistance and normalization of their characteristics]. *Stroitelnyie materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka – Building materials, equipment, technologies of the 21st century*, 3(4), 14-19.
3. *Osnovni pokaznyky klymatu ta pori roku v Ukraini [Elektronniy resurs] [Key climate indicators and seasons in Ukraine]*. Retrieved from <https://geomap.com.ua/uk-g8/873.html>.
4. Kolesnik, D. Yu., Sichenko V. G., Koval P. M. (2006). Analiz problemy korozii tsementobetonu v atmosfernih umovah i rol vodi u tsumu protsesi [Analysis of the problem of corrosion of cement concrete in atmospheric conditions and the role of water in this process]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznichnoho transportu imeni akademika V. Lazariana –*

*Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 13, 141-160 [in Ukrainian].

5. Moskvina, V. M., Ivanov, F. M., Alekseev, S. N., Guzeev, E. A. (1980). *Korroziia betona i zhelezobetona i metody ikh zaschity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete and methods of their protection]. Moscow: Stroizdat [in Russian].

6. Merkulov S. I., Dvornik, V. M., Pahomova, E. G. (2006). Rabotosposobnost zhelezobetona v usloviyah vozdeystviya agressivnykh sred [The performance of reinforced concrete in the conditions of exposure to corrosive environments]. *Stroitelnyie materialy, oborudovanie, tehnologii XXI veka – Building materials, equipment, technologies of the 21st century*, 1, 25 [in Russian].

7. Al-Havari, Yu. R. (2015). Analiz korrozionnogo razrusheniia zhelezobetonnykh konstruksii v usloviyah Iordanii [Analysis of corrosion failure of reinforced concrete structures in Jordan]. *Naukoviy visnyk budivnytstva – Scientific Bulletin of Construction*, 4, 136-140 [in Russian].

8. Kolesnik, D. Yu., Pushkarova, K. K., Sheynich, L. O. (2012). Suchasni uiavlennia pro koroziiu tsementnoho kameniu v betoni pid dieiu vodi. [Modern ideas about corrosion of cement stone in concrete under the influence of water]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy – Road car of Ukraine*, 4, 33-37 [in Ukrainian].

9. DSTU B V.2.6–145:2008. *Konstruksii budinkiv i sporud. Zahist betonnykh i zalizobetonnykh konstruksii vid korozii. Zahaini tehnicni vymohi* [Construction of buildings and structures. Protection of concrete and reinforced concrete structures from corrosion. General specifications] (GOST 31384:2008, NEQ).

10. Kolesnik D.Yu., Parubets M.G., Koval P.M. et al. (2005). Karbonizatsiia zakhysnoho шару betonu nesuchykh konstruksii mostiv [Carbonization of the protective layer of concrete of the bearing structures of the bridges]. *Avtoshliakhovyk Ukrainy – Road car of Ukraine*, 2, 34–36 [in Ukrainian].

11. Ratinov, V. B., Rozenberg, T. I. (1989). *Dobavki v beton* [Additives in concrete]. Moscow: Stroizdat [in Russian].

12. Moskvina, V. M., Ivanov, F. M., Alekseev, S. N., Guzeev, E. A., Moskvina V. M. (Ed.). (1980). *Korroziia betona i zhelezobetona, metody ikh zaschity* [Corrosion of concrete and reinforced concrete, methods of their protection]. Moscow: Stroizdat [in Russian].

13. Shtark, I., Bernd, V. (2004). *Dolgovechnost betona* [Durability of concrete]. Kyiv: Oranta [in Russian].

14. Kolesnik, D. Yu., Koval, P. M. (2010). Rozrobka i doslidzhennia mihruishchoho inhibitora korozii metaloarmatury dlia zalizobetonu. [Development and research of migrating metal corrosion inhibitor for reinforced concrete]. *Novi tehnologii v budivnytstvi – New technologies in construction*, 1 (19), 67-70 [in Ukrainian].

15. Luchko, I. I., Hlahola, I. I., Nazarovich, B. L. (1999). *Metod di pidvyshchennia koroziiinoi stiikosti ta dovhovichnosti betonnykh ta zalizobetonnykh konstruksii i sporud* [Method for increasing the corrosion resistance and durability of concrete and reinforced concrete structures and structures]. Kyiv: Kameniar [in Ukrainian].

16. Alekseev, S. N., Ratinov, V. B., Rozental, N. K., Kashurnikov, N. M. (1985). *Ingibitory korrozii stali v zhelezobetonnykh konstruksiiakh* [Corrosion inhibitors of steel in reinforced concrete structures]. Moscow: Stroizdat [in Russian].

17. Andreev, N. N., Gedvillo, I. A., Zhmakina, A. S., Bulgakov, D. S., Starovoytova, E. V. (2013). Fiziko-himicheskie printsipy sozdaniya migriruyuschih inhibitorov korrozii stalnoy armatury v betone [Physicochemical Principles of Creating Migrating Corrosion Inhibitors of Steel Reinforcement in Concrete]. *Vestnik TGU – TSU Bulletin*, 18 (5), 2269–2274 [in Russian].

18. ACI 440.1R\_06. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars: Reported by ACI Committee 440. – Supersedes ACI 440.1R\_03.

19. Brown, V. L., Bartholomew, C. L. (1993). FRP reinforcing bars in reinforced concrete members. *ACI Mater. J.*, 90, 34–39.

20. Bolotov, M. G., Bolotov, G. P., Ganieiev, T. R., Korzachenko, M. M. (2017). Otsinka nesuchoi zdatsnosti zvarnykh zednan armatury zalizobetonu [Assessment of the bearing capacity of welded joints of reinforced concrete reinforcement]. *Tehnicni nauki ta tehnologii – Technical sciences and technologies*, 1(7), 58-67 [in Ukrainian].



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

21. Benmokreyn, B. (n.d.). Primenenie kompozitnoy armatury v betonnyih konstruktsiyah [Application of composite reinforcement in concrete structures]. *NSERC Research Chair in Innovative Fibre Reinforced Polymer (FRP) Reinforcement for Concrete Infrastructure*.

22. Polskii, P. P., Mailian, D. R. (2012). Kompozitnye materialy – kak osnova effektivnosti v stroitelstve i rekonstruktsii zdaniy i sooruzheniy [Composite materials are the basis of efficiency in the construction and reconstruction of buildings and structures]. *Inzhenernyi vestnik Dona – Engineering Gazette of Don*, 4-2, 162 [in Russian].

UDC 691.237:620.193

Maksym Bolotov, Gennady Bolotov, Iryna Prybytko, Korzachenko Mykola

## WAYS OF INCREASING OF REINFORCED CONCRETE'S CORROSION STRENGTH

**Urgency of the research.** Nowadays, the issue of corrosion resistance of concrete and reinforced concrete structures is relevant worldwide, since the degree of corrosion protection of such structures determines the timing of their operational suitability and the level of sustainable development of construction processes as a whole.

**Target setting.** The natural and climatic zones of Ukraine are characterized by a certain heterogeneity both in temperature and in the amount of annual rainfall, and often cause certain destructive processes in reinforced concrete, mainly related to corrosion of metal reinforcement and, as a consequence, a significant reduction in its service life.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The problem of corrosion of reinforced concrete reinforcement has attracted the attention of many domestic and foreign scientists. In particular, considerable attention is paid to methods of increasing the density of cement stone of concrete, as an active sorbent of moisture from the environment and its conveyor to metal reinforcement. Also, significant influence of ambient temperature (air) on the rate of chemical and electrochemical processes causing corrosion of reinforcement and mortgages is indicated.

**Identification of unexplored parts of the general problem.** Despite the large number of publications devoted to the corrosion processes of concrete and reinforced concrete, to date, it is not possible to fully identify one or another way of preventing corrosion as the most effective. In our opinion, this is due, first of all, to the lack of any systematic data on relatively modern means of combating concrete corrosion, which will significantly increase their service life.

**The purpose of the work.** In this regard, the purpose of this work is to analyze ways of increasing the service life of reinforced concrete structures operating under conditions of aggressive atmospheric influences.

**The statement of basic materials.** The basic methods of reducing the level of porosity of cement stone of concrete at the stage of its production with the use of various kinds of modifying additives, and at the stage of exploitation of reinforced concrete structure by its hydrophysisation and calmatization are analyzed. The consequences of prolonged corrosion effects on reinforced concrete metal reinforcement and methods for their prevention, mainly related to impregnation of reinforcement by migrating corrosion inhibitors, are presented. The prerequisites for using composite reinforcement as an alternative to metallic are given.

**Conclusions.** It is established that the main source of corrosion of concrete and reinforced concrete structures is the capillary-porous structure of cement stone concrete, serves as an active drainage of water and various chemical impurities. It is established that the most effective way of preventing corrosion of metal reinforcement, today, is the use of so-called migrating corrosion inhibitors, unlike other methods (hydrophobization and clogging) provides reliable long-term protection of metal rods from interaction with the environment.

**Keywords:** concrete; reinforced concrete; corrosion; service life; reinforcement.

Fig.: 7. References: 22.

**Болотов Максим Геннадійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Bolotov Maksym** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of welding technology and CAD/CAM/CAE systems of building structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: pilgrim.83@mail.ru

Scopus: 57190377278

ResearcherID: H-4183-2014

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0915-4132>

**Болотов Геннадій Павлович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Bolotov Gennady** – Doctor in Technical Sciences, Doctor, Doctor of Department of welding technology and CAD/CAM/CAE systems of building structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: bolotovgp@mail.ua

ResearcherID: H-5304-2014

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0305-2917>

**Scopus:** 6506157907

**Прибытько Ірина Олександрівна** - кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Prybytko Iryna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of welding technology and CAD/CAM/CAE systems of building structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** prybytko\_ira@ukr.net

**ResearcherID:** F-7325-2014

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8550-8318>

**Корзаченко Микола Миколайович** – викладач кафедри промислового і цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Mykola Korzachenko** – lecturer of Department of civil and industrial construction, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** korzachenko\_87@meta.ua

**ResearcherID:** F-5177-2016

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5674-8662>

**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 **55 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 ЧЕРНІГІВСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ:**

**<http://tst.stu.cn.ua/>**

**Контактна інформація.**

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: **Кормило Ірина Миколаївна.**

Тел. роб.: (0462) 66-51-15

Тел. моб.: (093) 592-78-12

E-mail: [tst.technical.sj@gmail.com](mailto:tst.technical.sj@gmail.com)

**Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.  
Неправильно оформлені автором стаття та супровідні документи,  
що не відповідають зазначеним вимогам, розглядатися не будуть.**

*Редакція розглядає надходження публікації та супровідних документів (рецензії, довідки про авторів тощо) як згоду дописувача (ів) щодо передачі авторського права на використання твору (тиражування, розповсюдження тощо).*

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

*НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ*

*№ 4 (18)*

Відповідальний за випуск  
Редактор  
Комп'ютерне складання та верстання

С. П. Сапон  
О. С. Смелова  
Т. М. Колот

Підписано до друку 26.12.2019. Формат 60×84/8. Друк різнографія.  
Ум. друк. арк. – 30,2. Тираж 100 пр. Замовлення № 490/19.

---

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.