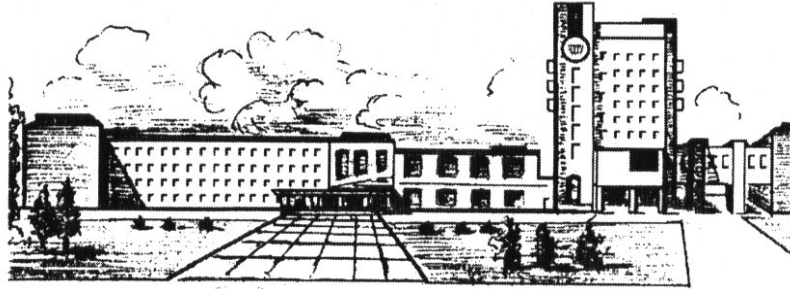


ISSN 2411-5363 (print)  
ISSN 2519-4569 (online)

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



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 2 (8)***

Чернігів 2017

УДК 62:67.05  
ББК 30.1:30.6  
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 6 від 29.05.2017 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 13.07.2015 р. № 747.

**Технічні науки та технології** : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Чернігів. Т38 нац. технол. ун-т, 2017. – № 2 (8). – 256 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: механіки та прикладної математики, технологій машинобудування та автотранспорту, зварювання та матеріалознавства, інформаційно-комп'ютерних технологій, енергетики, електротехніки та електроніки, технологій харчової та легкої промисловості, технологій будівництва та природокористування. Статті написані науковцями, аспірантами, магістрантами та студентами і прорецензовані провідними вченими вищих технічних навчальних закладів та закладів НАН України.

Журнал «Технічні науки та технології» буде корисним для науковців різних галузей технічних наук, науково-технічних працівників, аспірантів, магістрантів та студентів вищих технічних навчальних закладів.

**УДК 62:67.05**  
**ББК 30.1:30.6**

**Головний редактор:**

Казимир В. В., доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи.

**Заступник головного редактора:**

Пилипенко О.І., доктор технічних наук, професор.

**Члени редакційної колегії:**

Болотов Г. П., доктор технічних наук, професор;

Вархола Міхал, професор, Президент Академічного співтовариства Михайла Балудянського, Словаччина;

Волков І. В., доктор технічних наук, професор;

Денисов Ю. О., доктор технічних наук, професор;

Дубенець В. Г., доктор технічних наук, професор;

Дудла І. О., доктор технічних наук, доцент;

Іванишин В. А., доктор геологічних наук, професор;

Кальченко В. І., доктор технічних наук, професор;

Кальченко В. В., доктор технічних наук, професор;

Литвинов В. В., доктор технічних наук, професор;

Сенько В. І., доктор технічних наук, професор;

Сиза О. І., доктор технічних наук, професор;

Скоробогатова В. І., доктор технічних наук, професор;

Харченко Г. К., доктор технічних наук, професор;

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

Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;

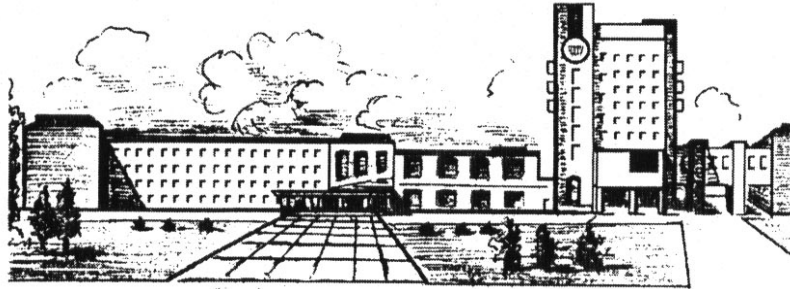
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.



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 № 2 (8)***

Chernihiv 2017

UDC 62:67.05  
LBC 30.1:30.6

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 6 dated 29.05.2017). 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 13, 2015 № 747.

**Technical sciences and technologies** : scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2017. – № 2 (8). – 256 p.

This issue of the journal “Technical sciences and technologies” contains articles devoted to theoretical and experimental research in the field of technical sciences: mechanics and applied mathematics, engineering and vehicle technology, welding and materials science, information and computer technologies, energy, electrical engineering and electronics, food technologies And light industry, construction technologies and nature management. The articles are written by scientists, graduate students, undergraduates and students and are reviewed by leading scientists of higher technical educational institutions and institutions of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Journal “Technical sciences and technologies” will be useful for the scientists in different fields of technical sciences, scientific and technical workers, postgraduates, master students and students of higher technical educational establishment.

**UDC 62:67.05**  
**LBC 30.1:30.6**

***Editor in chief:***

Kazymyr V.V., Vice-rector for scientific work, Doctor of Technical Sciences, Professor.

***Deputy Editor in chief:***

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

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

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

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

Volkov I.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

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

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

Dudla I.O., Doctor of Technical Sciences, Associate Professor;

Ivanyshyn V.A., Doctor of Geological Sciences, Professor

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

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

Lytvynov V.V., Doctor of Technical Sciences, Professor;

Senko V.I., Doctor of Technical Sciences, Professor;

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

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

Kharchenko H.K., Doctor of Technical Sciences, Professor;

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

Enrique Romero-Cadaval, Doctor of Science, Professor, Main Researcher in Power Electrical & Electronic Systems R&D Group, University of Extremadura, Badajoz, Spain;

Ilya Galkin, Doctor of Science, Professor, Editor in-Chief of the Scientific Journal “Electrical, Control and Communication Engineering”, Riga Technical University, Riga, Latvia;

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

Zheleznyak Mark, Professor, Institute of Environmental Radioactivity, Fukushima University, Japan.





## ЗМІСТ

## РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

<i>Крячок С., Мамонтова Л., Щербак Ю.</i> Приведення ліній, вимірених рулеткою та електронним тахеометром, до одного масштабу.....	9
<i>Сатюков А., Приступа А., Ленько Ю.</i> НВЧ метод вимірювання вологості об'єктів довільної форми.....	20

## РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Кальченко В., Деркач О., Кужельний Я.</i> Моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном при круглому глибинному шліфуванні.....	29
<i>Кальченко В., Следнікова О., Винник В., Литвин О.</i> Дослідження процесу двостороннього шліфування циліндричних деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами.....	40
<i>Сахно Є., Пономаренко С., Корнієць К.</i> Проектування нової автоматичної системи живлення гідростатичних опор.....	49
<i>Шановалов О., Колесник Д., Болотов Г., Журахов О.</i> Аналіз конструктивних особливостей і технічних характеристик основних типів силових установок для безпілотних літальних апаратів.....	57

## РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Індутний В., Мережко Н., Піркович К.</i> Аналіз ринку рубінів за якісними та вартісними показниками.....	66
<i>Мазанко В., Новомлинець О., Олексієнко С., Ющенко С.</i> Дослідження процесів масоперенесення у процесі прецизійного електроконтактного зварювання алюмінію.....	75
<i>Буря А., Ли Минг-занг, Липко Е., Томина А.-М., Кузнецова О.</i> Исследование свойств органопластиков на основе фенолформальдегидной смолы.....	82

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Зацерковний В., Комар М., Плічко Л., Кривоберець С.</i> Геоінформаційні технології в задачах моделювання і прогнозування повеней.....	89
<i>Литвинов В., Скідер І., Трунова О., Сідін Е.</i> Модифікація методики вейвлет-аналізу для виявлення аномалій у трафіку комп'ютерної мережі.....	99
<i>Богдан І.</i> Верифікація моделей об'єктно-орієнтованих програм: перевірка на несуперечливість та узгодженість.....	110
<i>Точилин С.</i> Производительность RESTful и SOAP PHP WEB-сервисов при поиске в данных MYSQL.....	116
<i>Казутыр V., Mokrohuz A., Moshel M.</i> Minimal HTTP header for traffic critical applications.....	123
<i>Liptai P., Moravec M., Zbojovský J.</i> Using of sound visualisation techniques for identification and analysis of vehicle noise sources.....	129

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

<i>Ковтун А., Дымерец А.</i> Взаимопревращение электронных центров в примесных щелочногалоидных кристаллах.....	135
<i>Наумчик П., Миронцов В.</i> Цифровой люксметр универсального прибора для визначення ефективності джерел світла.....	143
<i>Єршов Р., Савенко О., Карпенко М., Лимаренко Є., Мозговий І.</i> Технічні аспекти розробки вбудованого пристрою «розумного освітлення» на основі мікроконтролера MSP430.....	151
<i>Рева К., Степенко С.</i> Дослідження характеристик елементів автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів.....	162

**РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

<i>Кравченко М., Кублінська І., Лесишина Ю., Рябошапко О.</i> Р-вітамінна активність грибного порошку шиїтаке.....	172
<i>Буяльська Н., Денисова Н., Купчик О.</i> Дослідження вмісту важких металів в молоці як елемент реалізації системи НАССР.....	179
<i>Мостова Л., Мартиненко Л., Касьянов С.</i> Вплив геометричної форми харчового продукту на втрати вітаміну С при термічній обробці.....	188
<i>Челябієва В., Семенюк О., Гаврик М.</i> Використання нетрадиційної сировини у кондитерському виробництві.....	195
<i>Бойчук О., Тарасова В., Мулюкіна Н.</i> Вплив автохтонних дріжджів на фенольний комплекс вин.....	202
<i>Мряченко Н., Юрченко С.</i> Дослідження впливу технологічних факторів на піноутворюючу здатність та стійкість піни системи «пшеничний крохмаль-Твін 20».....	209

**РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

<i>Бугай В., Іванишин В., Дудко В.</i> Інженерно-геологічні дослідження ділянки під будівництво елеватора.....	219
<i>Терещук О.</i> Методика реалізації супутникових технологій кінематичного позиціонування для геодезичних полігонів.....	236
<i>Мовенко В.</i> Особливості відведення ділянок земель історико-культурного призначення під будівництво.....	246

<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ.....</b>	<b>255</b>
--	------------

## CONTENT

## SECTION I. MECHANICS AND APPLIED MATHEMATICS

<i>Kryachok S., Mamontova L., Shcherbak Y.</i> Bringing lines, which were measured by roulette and electronic total station, to one scale.....	9
<i>Satiukov A., Prystupa A., Lenko Y.</i> Microwave method of measuring moisture objects of the arbitrary form.....	20

## SECTION II. MECHANICAL AND AUTOMOBILE ENGINEERING TECHNOLOGY

<i>Kalchenko V., Derkach O., Kuzhelnyi Y.</i> Modeling of the cutting process by single abrasive grain at round deep grinding .....	29
<i>Kalchenko V., Sliednikova O., Vynnyk V., Lytvyn O.</i> Investigation of the process of bilateral grinding of cylindrical parts with torts of different diameters oriented grinding wheels.....	40
<i>Sakhno E., Ponomarenko S., Korniets K.</i> Design of new automated power system of hydrostatic supports.....	49
<i>Shapovalov O., Kolesnik D., Bolotov G., Zhurakhov O.</i> Analysis of constructive features and technical characteristics of the main types of unmanned aerial vehicle .....	57

## SECTION III. WELDING AND MATERIALS SCIENCE

<i>Indutny V., Merezhko N., Pirkovich K.</i> Market analysis of rubies on the qualitative and cost indicators .....	66
<i>Mazanko V., Novomlynets O., Oleksiienko S., Yushchenko S.</i> Investigation of mass transfer processes during high-precision electric resistance welding of aluminium .....	75
<i>Burya O., Mingzhang Lee, Lipko E., Tomina A.-M., Kuznetsova O.</i> Investigation of properties of organoplastics based on phenol formaldehyde resin .....	82

## SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Zatserkovnyi V., Komar M., Plichko L., Kryvoberets S.</i> GIS technologies in problems of modeling and forecasting floods .....	89
<i>Lytvynov V., Skiter I., Trunova H., Sidin E.</i> Modification of methodology of wavelet-analysis is for exposure of anomalies in traffic of computer network.....	99
<i>Bohdan I.</i> Verification of models of object-oriented programs: checking for non-opinionity and consistency.....	110
<i>Tochilin S.</i> Performance of RESTful and SOAP PHP WEB services for data search in MYSQL.....	116
<i>Kazymyr V., Mokrohuz A., Moshel M.</i> Minimal http header for traffic critical applications .....	123
<i>Liptai P., Moravec M., Zbojovský J.</i> Using of sound visualization techniques for identification and analysis of vehicle noise sources.....	129

## SECTION V. POWER ENGINEERING, ELECTRICAL ENGINEERING AND ELECTRONICS

<i>Kovtun A., Dymerefs A.</i> Mutual transformation of electronic centers in impurity alkali-haloid crystals .....	135
<i>Naumchyk P., Mirontsov V.</i> Universal device for determining the efficiency of light sources .....	143
<i>Yershov R., Savenko A., Karpenko M., Lymarenko Ye., Mozghoviy I.</i> Technical aspects of development embedded “smart lighting” device based on MSP430 microcontroller .....	151
<i>Reva K., Stepenko S.</i> Investigation of elements’ characteristics for autonomous power supply systems based on photovoltaic cells .....	162

**SECTION VI. TECHNOLOGIES OF FOOD AND LIGHT INDUSTRY**

<i>Kravchenko M., Kublinska I., Lesishina Ju., Ryaboshapko O.</i> Vitamin p-activity of shiitake mushroom powder .....	172
<i>Buialska N., Denisova N., Kupchik E., Prus T.</i> Research of heavy metals content in milk as an element of the implementation of HACCP .....	179
<i>Mostova L., Martynenko L., Kasyanov S.</i> Influence of food product geometrical form on vitamin C loss in thermal treatment .....	188
<i>Cheliabiieva V., Semenyuk H., Havryk M.</i> Use of non-traditionery raw materials in confectionery production.....	195
<i>Boichuk O., Tarasova V., Muljukina N.</i> Autochthonous yeast influence on polyphenol composition of wine.....	202
<i>Mriachenko N., Iurchenko S.</i> Study of technological factors impact on foaming ability and foam stability of “wheat starch-Tween 20” system.....	209

**SECTION VII. CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT TECHNOLOGY**

<i>Buhay V., Ivanyshyn V., Dudko V.</i> Engineering-geological reconnaissance of surface for an elevator construction.....	219
<i>Tereshchuk O.</i> Methods of implementation of satellite technology of kinematic positioning for geodetic poligons.....	236
<i>Movenko V.</i> Features of the allotment of lands of historical-cultural purpose for the building .....	246

<b>BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES .....</b>	<b>255</b>
--	------------

## РОЗДІЛ І. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-9-19

*Сергій Крячок, Людмила Мамонтова, Юлія Щербак*

### ПРИВЕДЕННЯ ЛІНІЙ, ВИМІРЯНИХ РУЛЕТКОЮ ТА ЕЛЕКТРОННИМ ТАХЕОМЕТРОМ, ДО ОДНОГО МАСШТАБУ

**Актуальність теми дослідження.** Важливою складовою геодезичних робіт є вимірювання ліній. Лінійні вимірювання виконуються під час побудови геодезичних мереж, топографічних знімків, інженерно-геодезичних робіт. Тож забезпечення достовірних результатів лінійних вимірювань є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Вимірювання можуть виконуватись різними приладами та різними методами. Щоб забезпечити принцип єдності вимірювань, кожен з приладів повинен пройти метрологічну атестацію. При цьому застосовуються процедура компарування, тобто порівняння відстані, виміряної геодезичним приладом з еталонною.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз літературних джерел показав, що еталонування приладів для лінійних вимірювань виконується на еталонних базисах. Такі базиси мають кілька відрізків, які виміряні з високою точністю та надійно закріплені на місцевості.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Однак, якщо за відсутності поблизу еталонного базису компарування провести неможливо, то доцільно привести вимірювання хоча б до масштабу одного з приладів. В подальшому можна провести еталонування лише цього приладу та через уточнений масштабний коефіцієнт виправити лінії, виміряні іншим приладом. Цим економляться кошти на недешеву процедуру компарування, яку виконують у центрах стандартизації та метрології.

**Постановка завдання.** Головною метою цієї роботи є приведення лінійних вимірювань, виконаних електронним тахеометром Trimble 3305 DR і рулеткою Inter Tool, до одного масштабу. Через значний обсяг матеріалів дана стаття висвітлює лабораторні вимірювання та опрацювання результатів, які стосуються рулетки Inter Tool. Подальші результати досліджень з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 DR будуть наведені у наступних номерах журналу.

**Викладення основного матеріалу.** Вимірювання виконувались у лабораторії. Кінці лінії, яка вимірювалась, були зафіксовані спеціальними відліковими пристроями. Відлікові пристрої було встановлено в трегери, котрі закріплювались на стаціонарних металевих стовпах. На верхній площині відлікових пристроїв нанесені два взаємно перпендикулярних відлікових штрихи. Відстань вимірювалась між відліковими штрихами лівого і правого стовпчиків. Потім відлікові пристрої повертали на  $180^\circ$  та знову вимірювалась відстань. Це забезпечувало врахування ексцентриситету відлікових штрихів. Вказані вимірювання склали один прийом вимірювань. Між прийомами по лотню рулетки зсували на малу величину. Визначалось середнє значення відстані з кількох прийомів. У середнє значення вводились поправки за: приведення довжини рулетки від температури вимірювання  $+15^\circ\text{C}$  до  $+20^\circ\text{C}$ ; провисання полотна рулетки; приведення до горизонту.

У першому циклі виконано 10 прийомів вимірювання відстані між поділками рулетки 0,10 м та 4,49 м з визначенням кінцевого значення, яке дорівнює 4,37683 м. У другому циклі виконано 12 прийомів вимірювання відстані між поділками рулетки 4,40 м та 8,78 м з визначенням кінцевого значення, яке склало 4,37680 м.

Було виконано перевірку результатів вимірювань: на відповідність нормальному закону – за критерієм Колмогорова, на рівноточність – за  $F$  - критерієм, відсутності систематичних похибок – за критерієм Аббе.

Виконана оцінка точності вимірювання лінії з використанням рулетки.

**Висновки відповідно до статті.** Виконані два цикли вимірювання відстані за допомогою рулетки Inter Tool. Статистична перевірка рядів вимірювань показала відсутність систематичних похибок, відповідність нормальному розподілу результатів та рівноточність реалізації вимірювань у обох циклах. У середні значення виміряних відстаней кожного циклу було введено поправки за: відмінність температури вимірювання та номінальної температури  $+20^\circ\text{C}$ , перевищення кінців виміряної лінії, прогин полотна стрічки у повітрі. Кінцеве горизонтальне прокладення виміряної відстані визначено з середньою квадратичною похибкою 0,054 мм і дорівнює 4,37682 м.

**Ключові слова:** вимірювання відстаней; рулетка; електронний тахеометр; компарування вимірювальних приладів.

**Постановка проблеми.** Під час проведення геодезичних робіт та наукових досліджень інколи доводиться використовувати відстані, виміряні різними приладами або різними методами [1]. В ідеальному випадку кожен з приладів повинен пройти метрологічну атестацію. При цьому застосовується процедура компарування, тобто порівняння відстані, виміряної геодезичним приладом, з еталонною. Цю процедуру називають ще еталонуванням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [2] наведено порядок еталонування світловіддалемірної частини електронних тахеометрів на багато центрових еталонних базисах довжиною від 1 до 3 км.

Стаття [3] присвячена калібруванню наземного лазерного сканера, який використовується для вирішення задач інженерної геодезії.

У роботі [4] наведено дослідження з метою калібрування лазерного сканера на короткому еталонованому геодезичному базисі, що має кілька інтервалів довжиною по 24 м. Середня квадратична похибка (СКП) визначення інтервалів базису становила 0,3 мм, а примусове центрування сканера та відбивача було виконано з похибкою не більше 0,3 мм.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Однак, якщо за відсутності поблизу еталонованого базису компарування неможливо провести, то щоб порівняти ті ж самі величини, виміряні різними приладами, або ж визначити невідому довжину як різницю довжин, виміряних різними приладами, потрібно хоча б привести такі вимірювання до одного масштабу. Наприклад, для визначення постійної поправки (сталої) електронного віддалеміра виконується порівняння відстаней, виміряних рулеткою та електронним віддалеміром чи електронним тахеометром [5]. Приведення до одного масштабу передбачає визначення масштабного коефіцієнта, користуючись яким відстань, виміряна одним приладом, приводиться у відповідність до довжини, яка виміряна або може бути виміряна іншим приладом. У подальшій перспективі можна провести компарування одного з двох приладів і не проводити компарування іншого. Цим економляться кошти на недешеву процедуру компарування, яку виконують у центрах стандартизації та метрології.

**Мета статі.** Головною метою цієї роботи є приведення лінійних вимірювань, виконаних електронним тахеометром Trimble 3305 DR і рулеткою Inter Tool, до одного масштабу. Через значний обсяг матеріалів ця стаття висвітлює лабораторні вимірювання та опрацювання результатів, які стосуються рулетки Inter Tool. Подальші результати досліджень будуть наведені у наступних номерах журналу.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення поставленого завдання були проведені експериментальні дослідження. Їх сутність полягала у вимірюванні тієї самої відстані рулеткою Inter Tool та електронним тахеометром Trimble 3305 DR. Для проведення експериментальних робіт було вибрано лабораторію геодезії у навчальному корпусі № 22 Чернігівського національного технологічного університету.

Рулетку 1 (рис. 1) було розташовано знизу головки штатива та пристрою 2, який закріплювався у підставці та пригвинчувався до штатива. Пристрій 2 мав блок малого діаметра, через який полотно 3 рулетки під кутом, близьким до  $90^\circ$ , спрямовувалось до відлікових пристроїв 4 та 5, встановлених у підставці, які було закріплено гвинтами до стовпчиків  $s_4$  та  $s_2$ . Кінець рулетки було закріплено за допомогою струбцини до верхньої поверхні стовпчика  $s_1$  через гумові прокладки. До рулетки було прикріплено тягар, вагою 5 кілограмів. Таку вагу було вибрано тому, що, наприклад, для прив'язки до стінних знаків з використанням рулетки, натяг полотна рулетки у 5 кілограмів є оптимальним як для натягу полотна рулетки, так і для утримання рулетки вручну нерухомою відносно центрів знаків. Закріпні гвинти підставок на стовпчиках  $s_2$  та  $s_4$  розташовувались перпендикулярно до полотна рулетки. Відлікові пристрої 4 та 5 (рис. 1) мають вигляд циліндра 7, у верхній частині якого розташована кругла платівка (рис. 2) з нанесеними різцем через її центр двох тонких відлікових ліній 8 під кутом  $90^\circ$  одна відносно одної та залитих тонким шаром чорної фарби. Підставки (рис. 1) на стовпчиках  $s_2$  та  $s_4$  були попередньо відгоризонтовані за допомогою електронного тахеометра.

Технологія вимірювання контрольної відстані рулеткою включала:

- 1) орієнтування відлікових ліній відлікових пристроїв паралельно торцю полотна рулетки та закріплення відлікових пристроїв закріпними гвинтами підставок;
- 2) взяття відліків за рулеткою по правому та лівому відліковим пристроям (стовпчик  $s_2$  та  $s_4$ ) відносно відлікових ліній, які перпендикулярні торцю полотна рулетки;
- 3) відкріплення закріпних гвинтів підставок, повороту відлікових пристроїв на  $180^\circ$ , закріплення закріпних гвинтів підставок та взяття відліків за рулеткою по право-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

му та лівому відліковим пристроям відносно відлікових ліній (щоб врахувати ексцентричність відлікових ліній відносно осі обертання відлікових пристроїв);

4) відкріплення струбцини на стовпчику s1, зсув полотна рулетки на малу величину та закріплення її струбциною до стовпчика s1.



Рис. 1. Вимірювання відстані за допомогою рулетки у першому циклі

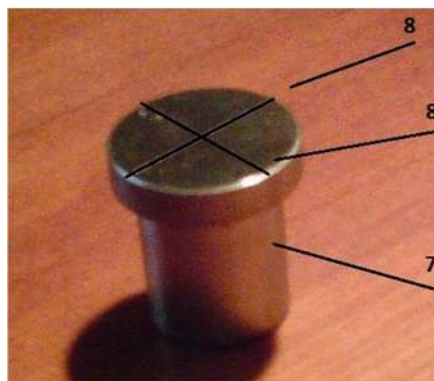


Рис. 2. Відліковий пристрій

Пункти 1–3 склали один прийом вимірювання, а між прийомами виконувались дії за пунктом 4. Для збільшення точності відлічування за рулеткою використовувалась лупа зі збільшенням  $3,5^{\times}$ . Була визначена температура на початку та у кінці вимірювань. Виконано тригонометричне нівелювання електронним тахеометром Trimble 3305 верху відлікових пристроїв та середини полотна рулетки – для приведення вимірювань до горизонту та визначення стрілки прогину полотна. Температура під час вимірювань становила  $+15^{\circ}\text{C}$ .

Результати вимірювань наведені у табл. 1, 2. У другому та третьому стовпчиках наведені відліки за рулеткою по лівому відліковому пристрою, а у п'ятому та шостому стовпчиках – по правому відліковому пристрою для двох діаметрально протилежних

положень відлікових ліній. Виконано 10 прийомів вимірювань та визначено середнє значення. Обчислені та введені поправки:

- за температуру – приведення довжини стрічки рулетки до +20 °С

$$\Delta_t = 12,5 \cdot 10^{-5} (15 - 20) 4,37712 = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ м}, \quad (1)$$

де  $12,5 \cdot 10^{-5} \cdot 1/1^\circ \text{C}$  – температурний коефіцієнт лінійного розширення сталі;

- за перевищення відлікових пристроїв на стовпчиках s2 та s4 (приведення до горизонту)

$$\Delta_h = -\frac{(0,0072)^2}{2 \cdot 4,37712} = -6 \cdot 10^{-6} \approx -0,00001 \text{ м}, \quad (2)$$

де 0,0072 м – перевищення відлікового пристрою на стовпчиках s4 над відліковим пристроєм на стовпчику s2.

Таблиця 1

*Результати вимірювання відстані s2 – s4 за допомогою рулетки у першому циклі*

№	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$l_1 - l_2$	$n_1, \text{ м}$	$n_2, \text{ м}$	$n_1 - n_2$	$\frac{l_1 + l_2}{2}$	$\frac{n_1 + n_2}{2}$
1	0,1055	0,1059	-0,0004	4,4827	4,4831	-0,0004	0,10570	4,48290
2	0,1074	0,1069	0,0005	4,4845	4,4841	0,0004	0,10715	4,48430
3	0,1070	0,1074	-0,0004	4,4843	4,4846	-0,0003	0,10720	4,48445
4	0,1071	0,1067	0,0004	4,4843	4,4839	0,0004	0,10690	4,48410
5	0,1070	0,1074	-0,0004	4,4842	4,4846	-0,0004	0,10720	4,48440
6	0,1080	0,1084	-0,0004	4,4851	4,4848	0,0003	0,10820	4,48495
7	0,1076	0,1080	-0,0004	4,4849	4,4852	-0,0003	0,10780	4,48505
8	0,1082	0,1086	-0,0004	4,4854	4,4850	0,0004	0,10840	4,48520
9	0,1078	0,1081	-0,0003	4,4850	4,4853	-0,0003	0,10795	4,48515
10	0,1042	0,1038	0,0004	4,4814	4,4810	0,0004	0,10400	4,48120
$\Sigma$	1,0698	1,0712	-0,0014	44,8418	44,8416	0,0002	1,07050	44,84170
$\Sigma/10$	0,10698	0,10712	-0,00014	4,48418	4,48416	0,00002	0,10705	4,48417
сер.	0,10705			4,48417				
$S_{24}^P$	4,37712 м						4,37712	
Середнє значення							4,37712	
Поправка за температуру $\Delta_t$							-0,00027	
Поправка за перевищення кінців стрічки $\Delta_h$							-0,00001	
Поправка за прогин стрічки $\Delta_{\cup}$							-0,00001	
Горизонтальне прокладення $D_{24}^P$							4,37683	

Згідно з [6] подвійний радіус  $2R$  прогину полотна стрічки визначається через стрілку прогину  $f$  та довжину дуги  $l$  (рис. 3) за формулою

$$2R = f + \frac{l^2}{4f}. \quad (3)$$



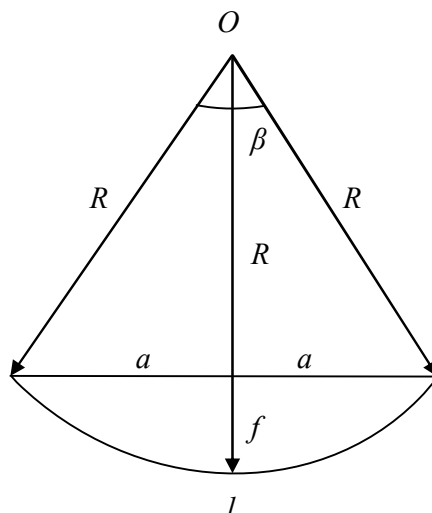


Рис. 3. До визначення радіуса прогину стрічки

Таблиця 2

Результати вимірювання відстані  $s_2 - s_4$  за допомогою рулетки у другому циклі

№	$l_1, \text{ м}$	$l_2, \text{ м}$	$l_1 - l_2$	$n_1, \text{ м}$	$n_2, \text{ м}$	$n_1 - n_2$	$\frac{l_1 + l_2}{2}$	$\frac{n_1 + n_2}{2}$
1	4,39940	4,39980	-0,0004	8,7766	8,7770	-0,0004	4,39960	8,77680
2	4,40430	4,40380	0,0005	8,7812	8,7809	0,0003	4,40405	8,78105
3	4,40670	4,40720	-0,0005	8,7837	8,7841	-0,0004	4,40695	8,78390
4	4,4103	4,40980	0,0005	8,7872	8,7868	0,0004	4,41005	8,78700
5	4,4105	4,4110	-0,0005	8,7877	8,7881	-0,0004	4,41075	8,78790
6	4,4141	4,4145	-0,0004	8,7910	8,7906	0,0004	4,41430	8,79080
7	4,4150	4,4156	-0,0006	8,7922	8,7926	-0,0004	4,41530	8,79240
8	4,4183	4,4179	0,0004	8,7953	8,7949	0,0004	4,41810	8,79510
9	4,4219	4,4223	-0,0004	8,7992	8,7996	-0,0004	4,42210	8,79940
10	4,4257	4,4251	0,0006	8,8029	8,8025	0,0004	4,42540	8,80270
11	4,4302	4,4307	-0,0005	8,8077	8,8079	-0,0002	4,43045	8,80780
12	4,4321	4,4316	0,0005	4	8,8089	0,0003	4,43185	8,80905
$\Sigma$	52,9885	52,9893	-0,0008	105,5139	105,5139	0,0000	52,9889	105,5139
$\Sigma/12$	4,41571	4,41578	-0,00007	8,79283	8,79283	0,00000	4,41574	8,79283
сер.	4,41574			8,79283				
$S_{24}^P$	4,37709						4,37709	
Середнє значення							4,37709	
Поправка за температуру $\Delta_t$							-0,00027	
Поправка за перевищення кінців стрічки $\Delta_h$							-0,00001	
Поправка за прогин стрічки $\Delta_{\cup}$							-0,00001	
Горизонтальне прокладення $D_{24}^P$							4,37680 м	

Дузі  $l$  буде відповідати центральний кут  $\beta$ , який з урахуванням формули (3) дорівнює

$$\beta = \frac{360^\circ l}{2\pi R} = \frac{360^\circ}{\pi \left( \frac{f}{l} + \frac{l}{4f} \right)} \tag{4}$$

Довжина хорди  $2a$  (рис. 3) з урахуванням (3) і (4) становить

$$2a = 2R \sin \frac{\beta}{2} = \left( f + \frac{l^2}{4f} \right) \sin \left[ \frac{180^\circ}{\pi \left( \frac{f}{l} + \frac{l}{4f} \right)} \right] \quad (5)$$

Поправка за прогин у довжину, виміряну рулеткою, визначається за формулою

$$\Delta_{\cup} = 2a - l = \left( f + \frac{l^2}{4f} \right) \sin \left[ \frac{180^\circ}{\pi \left( \frac{f}{l} + \frac{l}{4f} \right)} \right] - l. \quad (6)$$

Стрілка прогину визначається за результатами тригонометричного нівелювання верху відлікових пристроїв на стовпчиках s2 та s4 і середини полотна стрічки та складає  $f = 0,00380$  м, а дуга, з урахуванням поправки за температуру, становить (табл. 1)  $l = 4,37685$  м. Тоді поправка за прогин стрічки, згідно з формулою (6), дорівнює  $\Delta_{\cup} = -0,0000088 \approx -0,00001$  м (табл. 1).

У такий спосіб було визначено відстань між осями втулок підставок, закріплених на стовпчиках s2 та s4 на інтервалі рулетки від 0,1 м до 4,4 м, що склало перший цикл вимірювань.

У другому циклі було визначено відстань між тими ж осями втулок, закріплених на стовпчиках s2 та s4, але на інтервалі рулетки від 4,4 м до 8,7 м (табл. 2).

Різниця відстаней між осями втулок підставок, закріплених на стовпчиках s2 та s4 та визначених у першому 4,37683 м та другому 4,37680 м циклах, становила  $-0,00003$  м, тобто 0,03 мм, що для середнього значення  $D_{24}^p = 4,37682$  м у відносній мірі становить 1:146000.

Для визначення відповідності рядів вимірювань відстані  $S_{24}^p$  нормальному розподілу було використано критерій Колмогорова. Для кількості вимірювань  $n \leq 30$  статистичний ряд опрацьовується за таким порядком. Визначається відхилення  $z_i$  кожного з вимірювань  $x_i$  від середнього значення  $\bar{X}$  у нормованому вигляді для СКП одного вимірювання  $m$

$$z_i = \frac{x_i - \bar{X}}{m}. \quad (7)$$

Обчислюються значення емпіричної функції розподілу  $\bar{F}(z_i)$  для порядкового номера  $i$  нормованого відхилення  $z_i$

$$\bar{F}(z_i) = \frac{i - 0,5}{n}. \quad (8)$$

Теоретичне значення нормованої функції розподілу визначається за формулою для табличних значень  $\Phi(z_i)$  [7]

$$F(z_i) = 0,5 + \Phi(z_i). \quad (9)$$

Визначаються різниці  $D_i$

$$D_i = \bar{F}(z_i) - F(z_i). \quad (10)$$

Гіпотеза про нормальний розподіл емпіричного статистичного ряду підтверджується, коли  $|D_{msx}|$  є меншим за  $D_q$ , яке є табличним значенням [7].

Обчислення за критерієм Колмогорова наведено в табл. 3 і 4.

Таблиця 3

Критерій Колмогорова для результатів вимірювання відстані  $S_{24}^P$  у першому циклі

№	$z_i$	$\bar{F}(z_i)$	$F(z_i)$	$D_i$	№	$z_i$	$\bar{F}(z_i)$	$F(z_i)$	$D_i$
1	-1,9	0,05	0,0287	0,0213	6	0,5	0,55	0,692	-0,142
2	-1,6	0,15	0,0548	0,0952	7	0,5	0,65	0,692	-0,042
3	-0,5	0,25	0,308	-0,058	8	0,5	0,75	0,692	0,058
4	0,3	0,35	0,618	-0,268	9	0,8	0,85	0,788	0,062
5	0,5	0,45	0,692	-0,242	10	0,8	0,95	0,788	0,162

$m = 0,1856$  мм;  $|D_{msx}| = 0,268$ ;  $D_q = 0,41$ ;  $|D_{msx}| < D_q$ .

Таблиця 4

Критерій Колмогорова для результатів вимірювання відстані  $S_{24}^P$  у другому циклі

№	$z_i$	$\bar{F}(z_i)$	$F(z_i)$	$D_i$	№	$z_i$	$\bar{F}(z_i)$	$F(z_i)$	$D_i$
1	-2,5	0,3	0,067	0,233	7	0,3	0,542	0,618	-0,076
2	-0,6	0,5	0,274	0,226	8	0,5	0,625	0,691	-0,066
3	-0,6	0,5	0,274	0,226	9	0,5	0,708	0,691	0,017
4	-0,3	1	0,382	0,618	10	1	0,792	0,841	-0,049
5	-0,3	1	0,382	0,618	11	1	0,875	0,841	0,034
6	0,10	1,2	0,5	0,700	12	1,2	0,958	0,885	0,073

$m = 0,2309$  мм;  $|D_{msx}| = 0,149$ ;  $D_q = 0,38$ ;  $|D_{msx}| < D_q$ .

Необхідно визначити рівноточність рядів вимірювання відстані  $S_{24}^P$  у першому та другому циклах, оскільки ці ряди будуть використані сумісно для визначення середнього значення  $D_{24}^P$ . Для цього застосовано  $F$ -критерій, згідно з яким [7] для кожного з рядів обчислюються вибіркові дисперсії  $m_1^2$  та  $m_2^2$  і за умови  $m_1^2 > m_2^2$  обчислюється співвідношення

$$F = \frac{m_1^2}{m_2^2}. \tag{11}$$

З таблиць [7] за числом ступеня волі  $k_1 = n_1 - 1$  та  $k_2 = n_2 - 1$  і рівнем значності  $q = 1 - P$ , що відповідає обраній довірчій ймовірності  $P$ , вибирається статистика  $F_q$ . Ряди будуть рівноточні, коли

$$F \leq F_q. \tag{12}$$

У такому випадку для  $m_1^2 = 0,0533$  – другого циклу вимірювань та  $m_2^2 = 0,0344$  – першого циклу (таблиці 5 та 6) за формулою (11) розраховується значення  $F = 1,55$  та для  $n_1 = 11$ ,  $n_2 = 9$ ,  $q = 1 - 0,95$  за таблицями [7] знайдено  $F_q = 3,0$ . Оскільки  $F < F_q$ , то обидва ряди вважаються рівноточними.

Для визначення наявності чи відсутності систематичних похибок у рядах вимірювання відстані було використано критерій Аббе. Для цього визначаються різниці

$$d = S_{i+1} - S_i. \tag{13}$$

Обчислюється дисперсія

$$m_d = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} d_i^2. \tag{14}$$

Визначається вибіркова статистика для вибіркової дисперсії  $m^2$

$$\delta = \frac{m_d^2}{m^2}. \tag{15}$$

Систематична похибка у ряді вимірювань відсутня, якщо виконується нерівність

$$\delta > \delta_q. \tag{16}$$

Результати розрахунків за формулами (13)–(15), наведені в табл. 5 і 6. Тоді у першому циклі вимірювань відстані для  $n=10$  та  $q=0,05$  табличне значення критерію дорівнює  $\delta_q = 0,53$  [7]. З табл. 5 видно, що  $\delta > \delta_q$ , тобто систематична похибка відсутня. У другому циклі вимірювань для  $n=12$  і  $q=0,05$  табличне значення  $\delta = 0,56$ . З табл. 6 видно, що  $\delta > \delta_q$  - систематична похибка відсутня і у другому ряді вимірювань.

Таблиця 5

Результати обчислення відстані  $S_{24}^P$  у першому циклі та розрахунки до критерію Аббе

№	$S_i$ , м	$d$ , мм	$d^2$ , мм <sup>2</sup>	№	$S_i$ , м	$d$ , мм	$d^2$ , мм <sup>2</sup>
1	4,37720	-0,05	0,0025	6	4,37675	0,5	0,25
2	4,37715	0,1	0,01	7	4,37725	-0,45	0,2025
3	4,37725	-0,25	0,0625	8	4,37680	0,4	0,16
4	4,37700	0,2	0,04	9	4,37720	0	0
5	4,37720	-0,45	0,2025	10	4,37720	-0,1	0,93

$$d = S_{i-1} - S_i; m_{S_{24}}^P = 0,1856 \text{ мм}; m_d^2 = 0,05167 \text{ мм}^2; \delta = 1,50$$

Таблиця 6

Результати обчислення відстані  $S_{24}^P$  у другому циклі та розрахунки до критерію Аббе

№	$S_i$ , м	$d$ , мм	$d^2$ , мм <sup>2</sup>	№	$S_i$ , м	$d$ , мм	$d^2$ , мм <sup>2</sup>
1	4,37720	0,2	0,04	7	4,37710	0,1	0,01
2	4,37700	0,05	0,0025	8	4,37700	-0,3	0,09
3	4,37695	0	0	9	4,37730	0	0
4	4,37695	-0,2	0,04	10	4,37730	-0,05	0,0025
5	4,37715	0,65	0,4225	11	4,37735	0,15	0,0225
6	4,37650	-0,6	0,36	12	4,37720	0	0,9900

$$d = S_{i+1} - S_i; m_{S_{24}}^P = 0,2309 \text{ мм}; m_d^2 = 0,04500 \text{ мм}^2; \delta = 0,844$$

Для оцінки точності вимірювання лінії  $S_{24}$  з використанням рулетки застосована формула визначення окремого значення  $S_{24}$  у табл. 1 і 2

$$S_{24}^P = \frac{n_1 + n_2}{2} - \frac{l_1 + l_2}{2}. \quad (17)$$

Після диференціювання формули (20) та переходу до СКП з урахуванням  $m_{n_1} = m_{n_2} = m_n$  та  $m_{l_1} = m_{l_2} = m_l$  СКП вимірювання лінії  $S_{24}^P$  з використанням рулетки має вигляд

$$m_{S_{24}^P} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{m_n^2 + m_l^2}. \quad (18)$$

Значення  $m_n$  та  $m_l$  визначаються за різницям  $d_R = (n_1 - n_2)$  та  $d_L = (l_1 - l_2)$ . Для цього визначається наявність чи відсутність систематичної похибки у різницях  $d_R$  та  $d_L$  за критерієм [7]

$$|\sum d| \leq 2,5 \sum |d| / \sqrt{n}. \quad (19)$$

З табл. 1 визначаються  $|\sum d_L| = 1,4$  мм,  $\sum |d_L| = 4$  мм,  $n=10$ , то ж за формулою (19)  $1,4$  мм  $<$   $3,2$  мм – систематична похибка у  $d_L$  відсутня. Аналогічно,  $|\sum d_R| = 0,2$  мм,  $\sum |d_R| = 3,7$  мм,  $n=10$ , за формулою (19)  $0,2$  мм  $<$   $2,9$  мм – систематична похибка у  $d_R$  відсутня. З табл. 2 визначено:  $|\sum d_L| = 0,8$  мм,  $\sum |d_L| = 5,8$  мм,  $n=12$ , то ж за формулою (19)  $0,8$  мм  $<$   $4,2$  мм – систематична похибка у  $d_L$  відсутня. Далі,  $|\sum d_R| = 0,0$  мм, тобто систематична похибка відсутня. З огляду на відсутність систематичних похибок у рядах

визначень різниць  $d_R = (n_1 - n_2)$  та  $d_L = (l_1 - l_2)$  можна говорити про те, що відлікові лінії, відносно яких виконувались визначення згаданих різниць, нанесені без ексцентриситету на верхніх площинах відлікових пристроїв (рис. 2). СКП відліку відносно відлікових ліній обчислюється за формулою

$$m_{L(II)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sum d^2}{n}}. \quad (20)$$

Позначимо у формулі (18)  $m_{S_{24}^P} = m_{S_1}$  – для першого туру вимірювання  $S_{24}^P$  та  $m_{S_{24}^P} = m_{S_2}$  – у другому турі вимірювання  $S_{24}^P$ . Тоді формула (18) набуде вигляду

$$m_{S_1(S_2)} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{m_n^2 + m_n^2}. \quad (21)$$

СКП середнього значення відстані  $S_{24}^P$ , визначеного у першому або другому циклах, дорівнює

$$m_{S_{1,cep}(S_{2,cep})} = \frac{m_{S_1(S_2)}}{\sqrt{n}}. \quad (22)$$

За даними табл. 1:  $\sum d_L = 1,62 \text{ мм}^2$  та  $\sum d_R = 1,32 \text{ мм}^2$ ,  $n = 10$ . Тоді за формулою (20)  $m_n = 0,2846 \text{ мм}$ ,  $m_n = 0,2569 \text{ мм}$ , а за формулою (21)  $m_{S_1} = 0,2711 \text{ мм}$ , за формулою (22)  $m_{S_{1,cep}} = 0,0857 \text{ мм}$ . За даними табл. 2:  $\sum d_L = 2,51 \text{ мм}^2$  та  $\sum d_R = 0,93 \text{ мм}^2$ ,  $n = 12$ . Тоді за формулою (20)  $m_n = 0,3234 \text{ мм}$ ,  $m_n = 0,1969 \text{ мм}$ , а за формулою (21)  $m_{S_2} = 0,2677 \text{ мм}$ , за формулою (22)  $m_{S_{2,cep}} = 0,0667 \text{ мм}$ .

Оскільки у першому циклі відстань  $S_{24}$  вимірювалась рулеткою 10 разів, а у другому циклі 12 разів, то отримані середні значення у циклах можуть бути нерівноточними. Однак за  $F$ -критерієм середні значення у циклах приймаються рівноточними. Тому за кінцеве значення приймається середнє з горизонтальних прокладень у циклах, яке дорівнює  $D_{24}^P = 4,37682$ . Його СКП визначається за формулою

$$M_{D_{24}^P} = \frac{1}{2} \sqrt{m_{S_{1,cep}}^2 + m_{S_{2,cep}}^2}. \quad (23)$$

Для наведених СКП середніх значень у першому та другому циклах можна тримати з (23) СКП кінцевого значення горизонтального прокладення  $M_{D_{24}^P} = 0,054 \text{ мм}$ .

**Висновки.** Виконані два цикли вимірювання відстані за допомогою рулетки Inter Tool. Проведена статистична перевірка рядів вимірювань, яка показала відсутність систематичних похибок у рядах вимірювань, відповідність нормальному розподілу результатів та рівноточність реалізацій вимірювань у обох циклах. У середні значення вимірюваних відстаней кожного циклу було введено поправки за: температуру, за перевищення кінців вимірюваної лінії, за прогин полотна стрічки у повітрі. У підсумку визначені горизонтальні прокладення відстані у кожному циклі та кінцеве значення горизонтального прокладення 4,37682 м, середня квадратична похибка (СКП) якого становить 0,054 мм.

#### Список використаних джерел

1. Бринь М. Я. Про обґрунтування параметрів теодолітних ходів під час виконання кадастрових зйомок / М. Я. Бринь, В. М. Іванов, Ю. В. Щербак // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2015. – № 1 (1). – С. 230–233.
2. Тревого І. С. Геодезичні прилади. Практикум : навч. посіб. / І. С. Тревого, Т. Г. Шевченко, О. І. Мороз. – 3-тє вид., переробл. та доповн. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 240 с.

3. Reshetyuk Yu. Calibration of terrestrial laser for the purposes of geodetic engineering, Paper presented to 3<sup>rd</sup> IAG/12<sup>th</sup> FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006. – 9 p. Retrieved from : [http://www.fig.net/commission6/baden\\_2006/PDF/LS1/Reshetyuk.pdf](http://www.fig.net/commission6/baden_2006/PDF/LS1/Reshetyuk.pdf).

4. Кафтан В. И. Калибровка лазерного сканера на коротком эталонном геодезическом базисе / В. И. Кафтан, В. М. Никифоров // Геодезия и картография. – 2012. – № 5. – С. 14–19.

5. Крячок С. Д. До визначення постійної поправки електронними віддалемірами / С. Д. Крячок // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – № 2. – С. 4–7.

6. Халугин Е. И. Цифровые карты / Е. И. Халугин, Е. А. Жалковский, Н. Д. Жданов ; под ред. Е. И. Халугина. – М. : Недра, 1992. – 419 с.

7. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА, 2003. – 216 с.

### References

1. Bryn, M.Ya., Ivanov, V.M., Shcherbak, Yu.V. (2015). Pro obgruntuvannya parametriv teodolitnykh khodiv pid chas vykonannya kadastryvkh ziomok [The substantiation of parameters of theodolite lines when performing cadastral survey]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 1 (1), pp. 230–233 (in Ukrainian).

2. Trevoho, I.S., Shevchenko, T.H., Moroz, O.I. (2012). *Heodezychni prylady. Praktykum [Geodetic devices. Practicum]* (3<sup>rd</sup> ed., rev. and enl.). Lviv: Publisher Lviv Polytechnic (in Ukrainian).

3. Reshetyuk, Yu. (2006). Kalibrovka nazemnogo lazera dlya tseley geodezicheskoy inzhenerii [Calibration of terrestrial laser for the purposes of geodetic engineering]. Proceedings from 3<sup>rd</sup> IAG/12<sup>th</sup> FIG Symposium (Baden, May 22-24, 2006). Retrieved from [http://www.fig.net/commission6/baden\\_2006/PDF/LS1/Reshetyuk.pdf](http://www.fig.net/commission6/baden_2006/PDF/LS1/Reshetyuk.pdf).

4. Kaftan, V.Y. & Nykyforov, V.M. (2012). Kalibrovka lazernogo skanera na korotkom etalonnom geodezicheskomo bazise [Calibration of a laser scanner on a short reference geodetic basis]. *Heodezyia y kartohrafiya – Geodesy and cartography*, no. 5, pp. 14–19 (in Russian).

5. Kriachok, S.D. (2015). Do vyznachennia postiinoi popravky elektronnyimi viddalemiramy [To determine the constant correction electronic rangefinders]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiy – Journal of geodesy and cartography*, no. 2, pp. 4–7 (in Ukrainian).

6. Khalugin, E.I. (ed.), Zhalkovskiy, E.A., Zhdanov, N.D. (1992). *Tsifrovye karty [Digital maps]*. Moscow: Nedra (in Russian).

7. Voitenko, S.P. (2003). *Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv. Teoriia pokhybok vymiriv [Mathematical processing of geodetic measurements. The theory error of measurements]*. Kyiv: KNUBA (in Ukrainian).

Serhiy Kryachok, Lyudmila Mamontova, Yuliya Shcherbak

## BRINGING LINES, WHICH WERE MEASURED BY ROULETTE AND ELECTRONIC TOTAL STATION, TO ONE SCALE

**Urgency of the research.** Lines measurement is an important part of geodetic works. Linear measurements performed during the construction of geodetic networks, topographic survey, engineering and geodetic works. Therefore, ensuring reliable results linear measurement is an urgent task.

**Target setting.** Measurements can be performed by different devices and different methods. To ensure the principle of unity of measurements each device must undergo metrological certification. In this case a comparison procedure is used. That is a comparison of the distance measured by the geodetic device with the reference one.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Analysis of literary sources showed that standardizing devices for linear measurements is performed on the calibration base-line. Such bases-lines have several line segments that are measured accurately and securely mounted on the locality.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** However, if no calibration base-line of comparison is possible, it is expedient to bring the measure to scale at least one of the devices. Further, it is possible to standardize only this device and updated using a scale factor to correct the line, measured by another device. This saved money on an expensive procedure of comparison which is performed in the centres of standardization and metrology.

**The research objective.** The main purpose of this work is to bring linear measurements made by Trimble 3305 DR electronic total station and Inter Tool tape measure to one scale. Due to the considerable volume of materials this article highlights the laboratory measurements and processing of results concerning the Inter Tool tape measure. Further studies using Trimble 3305 DR electronic total station will be given in the following issues of the journal.

**The statement of basic materials.** Measurements were performed in the laboratory. The ends of the line that was measured were recorded by special readout devices. Readout devices were installed in the levelling head which were fixed on the stationary metal poles. On the upper plane readout devices applied two mutually perpendicular readout strokes. The distance measured between the readout touches of left and right columns. Then readout devices were returned through 180°

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

and measured distance again. This provided the inclusion of the eccentricity of readout strokes. These measurements made one receiving measurement. Between the receivings the canvas of the tape measure was changed to a small size. The average value of the distances of several receiving was determined. The average value of amendments was introduced by bringing the length of tape measure from the measurement temperature  $+15^{\circ}\text{C}$  to  $+20^{\circ}\text{C}$ ; sagging cloth tape measure; bringing to the horizon.

In the first cycle 10 receiving measuring the distance between divisions tape measures 0.10 m and 4.49 m with determination the final value, that is equal 4.37683 m were made. In the second cycle 12 receiving measuring the distance between divisions tape measures 4,40 m and 8,78 m with determination the final value, which amounted to 4.37680 m were made.

The results of measurements were checked for compliance with normal law by the Kolmogorov criterion, on equal accuracy by F-criterion, absence of systematic errors by Abbe criterion.

Evaluation of accuracy the measurement line using tape measures was made.

**Conclusions.** Two cycles of distance measurement with Inter Tool tape measure were performed. Statistical verification of ranks of measurements showed the absence systematic errors, matching the normal distribution of results and equal measurements accuracy implementations in both cycles. In the mean values measured distances each cycle was introduced amendment by the difference in temperature measurement and the nominal temperature  $+20^{\circ}\text{C}$ , exceeding measured ends of lines, cloth tape sag in the air. The final horizontal laying measured distance was determined with an average quadratic error of 0.054 mm and equal 4.37682 m.

**Key words:** measuring distances, roulette, electronic total station, the calibration of measuring instruments.

Сергей Крячок, Людмила Мамонтова, Юлия Щербак

## ПРИВЕДЕНИЯ ЛИНИЙ, ИЗМЕРЕННЫХ РУЛЕТКОЙ И ЭЛЕКТРОННЫМ ТАХЕОМЕТРОМ, К ОДНОМУ МАСШТАБУ

Описана методика приведения линий, измеренных рулеткой и тахеометром, к одному масштабу. В экспериментальном исследовании была использована рулетка Inter Tool и электронный тахеометр Trimble 3305 DR. Сущность эксперимента заключалась в многократном измерении одной и той же линии рулеткой и тахеометром и последующим расчетом масштабного коэффициента. В статье приводится первая часть измерений с использованием рулетки. Результаты измерений подлежали выявлению постоянной погрешности по критерию Аббе и соответствия нормальному распределению по критерию Колмогорова. В итоге получено среднее значение линии. Вычислена средняя квадратическая погрешность определения длины линии.

**Ключевые слова:** измерения расстояний; рулетка; электронный тахеометр; компарирование измерительных приборов.

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kryachok Serhiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

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

**Мамонтова Людмила Степанівна** – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Мамонтова Людмила Степановна** – старший преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Mamontova Lyudmila** - Senior Lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** liudmila.mamontova@gmail.com

**Щербак Юлія Володимирівна** – магістр, викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Щербак Юлия Владимировна** – магистр, преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Shcherbak Yuliya** – master, lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

УДК 621.391.812

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-20-28

Анатолій Сатюков, Анатолій Приступа, Юлія Ленько

**НВЧ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ ОБ'ЄКТІВ  
ДОВІЛЬНОЇ ФОРМИ**

**Актуальність дослідження.** Сучасні технології виробництва в значній мірі пов'язані з вмістом вологи. Надлишок або нестача вологи в матеріалі впливає на його властивості та якісні показники. Швидке і точне вимірювання вмісту вологи в певному матеріалі є дуже важливим і актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи НВЧ широко використовуються для вимірювання вологості матеріалів. Вільні молекули води розкручуються електромагнітним полем. В результаті швидкість проходження радіохвиль сповільнюється, а їх інтенсивність зменшується. Ці ефекти використовуються для створення пристроїв і систем, які вимірюють вологість за допомогою НВЧ-сигналів. Робота більшості з них заснований на визначенні величини ослаблення сигналу або зміни діелектричної проникності вологою речовиною. Найбільш поширені НВЧ методи: оптичні, резонансні, хвилеводні, зондові.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** До переваг НВЧ методів вимірювання та контролю вологості можна віднести доволі високу точність, процес вимірювання не пов'язаний з руйнуванням досліджуваного зразка, невеликі потужності вимірювальних систем, тощо. Майже у всіх перелічених НВЧ методах необхідно знати геометричні розміри досліджуваного об'єкту, що не завжди є можливим. Ще одна складність в деяких випадках зумовлена необхідністю однозначного розміщення та орієнтації передавальних та приймальних елементів, оскільки будь-які антени мають певну діаграму спрямованості.

**Мета дослідження.** Розвиток НВЧ методів вимірювання вологості будівельних матеріалів та інженерних споруд для подальшого їх використання в системах неруйнівного моніторингу об'єктів довільної форми.

**Виклад основного матеріалу.** Хвилеводно-коаксіальний перехід є однією з важливих складових НВЧ техніки. Він широко використовується для взаємних підключень коаксіальних та хвилеводних ліній передач при формуванні НВЧ трактів. Якщо на хвилеводно-коаксіальний перехід направити НВЧ сигнал з частотою трохи меншою за граничну, а потім поступово підвищувати її, то потужність, що потрапляє до коаксіальної лінії, буде зростати, оскільки ми будемо наближатись до частот, на які власне і розрахований цей хвилеводно-коаксіальний перехід.

З іншого боку у деяких речовин спостерігається зростання послаблення НВЧ сигналу зі збільшенням частоти. Таким чином ці два протилежних фактори призводять до наявності на частотній залежності ступеню послаблення НВЧ хвилі чітко спостерігаемого мінімуму. Автори виявили, що частота максимального послаблення залежить від відсотка вологості зразка.

**Висновки.** Запропоновано новий метод контролю вологості заснований на вимірювання частоти, при якій спостерігається максимальне послаблення НВЧ-сигналу у хвилеводно-коаксіальному переході. Результати експериментальних досліджень показують, що частота максимального послаблення НВЧ сигналу залежить від вологості зразка.

**Ключові слова:** хвилеводно-коаксіальний перехід; вимірювання вологості; вимірювальний перетворювач; НВЧ-технології; системи неруйнівного моніторингу.

**Постановка проблеми.** Сучасні технологічні прийоми виробництва значною мірою пов'язані з вмістом вологи. Надлишок або відсутність у матеріалі вологи відбивається на його фізико-хімічних, фізико-механічних та експлуатаційних властивостях, а також на якісних показниках. Швидке і точне визначення вмісту вологи в тому чи іншому матеріалі як у процесі виробництва, так і в період експлуатації є дуже важливим завданням.

Зростаючі вимоги до якості та конкурентоспроможності продукції висувають нові вимоги до приладів і пристроїв експресного контролю вологості в більшості технологічних процесів. У сучасних технологічних процесах потрібні універсальні прилади, що контролюють вологість широкого кола матеріалів. Цілком очевидно, що широке впровадження необхідних засобів і приладів контролю вологості і їх правильна експлуатація дають відчутний техніко-економічний ефект [1].

Відомо багато методів вимірювання вологості. Всі методи вимірювання вологості поділяють на прямі та непрямі. Прямі методи вимірювання вологості ґрунтуються на поділі досліджуваного матеріалу на суху речовину і вологу з наступним визначенням співвідношень їх мас. Прямі методи найчастіше використовуються в лабораторних дослідженнях, потребують значних затрат часу та громіздкого обладнання.

Тому більш популярними для широкого використання є непрямі методи. В непрямо-х методах вимірюється зміна фізичних величин або властивостей об'єкта контролю, функціонально пов'язаних з вологістю матеріалу. Непрямі методи вимагають попереднього калібрування з метою встановлення залежності між вологістю матеріалу та



інформативним параметром. Залежно від вимірюваного параметра та фізичний явищ, які лежать в основі функціональної залежності, існує багато різновидів непрямих методів, класифікація яких представлена на рис. 1.

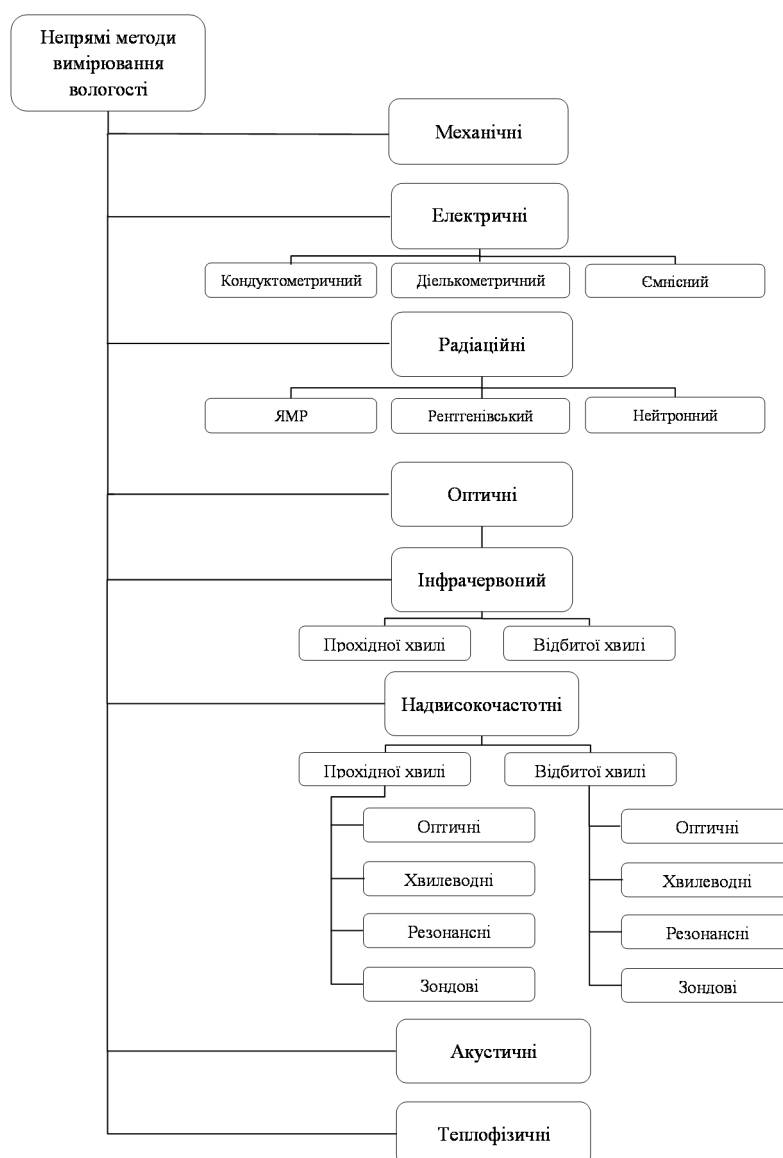


Рис. 1. Класифікація непрямих методів вимірювання вологості

Серед існуючих непрямих методів вимірювання вологості останнім часом все більшої популярності набувають НВЧ методи. Цьому факту сприяє стрімкий розвиток як елементної бази, так і теоретичних досліджень НВЧ діапазону, який використовується не тільки у вимірювальних системах, а й для радіозв'язку; систем безпроводного Інтернету; супутникового телебачення; радіолокації; навігаційних систем; технологічних систем НВЧ-розігріву (у мікрохвильових печах) тощо.

До переваг НВЧ методів вимірювання та контролю вологості можна віднести доволі високу точність, процес вимірювання не пов'язаний з руйнуванням досліджуваного зразка, невеликі потужності вимірювальних систем. Однак існує багато питань, які потребують подальшого дослідження, зокрема частотні залежності дисперсії діелектричної проникності вологих матеріалів, універсальність застосування даних методів для матеріалів, що відрізняються формою, складом і т. ін.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Як відомо, вільні молекули води розкриваються електромагнітним полем. У результаті швидкість проходження радіохвиль сповільнюється, а їх інтенсивність зменшується. Ці явища використовуються для створення пристроїв та систем, що вимірюють вологість з використанням НВЧ сигналів. Робота більшості з них базується на визначенні величини послаблення сигналу або зміни діелектричної проникності вологою речовиною. Крім того, в речовині молекули води можуть знаходитись у зв'язаному стані. Це значно розширює коливальний спектр такої системи. На сьогодні для вимірювання вологості різних матеріалів широко використовуються НВЧ-методи, серед яких виділяють:

- 1) оптичні;
- 2) резонансні;
- 3) хвилеводні;
- 4) зондові.

Оптичні НВЧ-методи засновані на дослідженні характеристик електромагнітної хвилі, що пройшла через зразок випробуваного матеріалу, шляхом порівняння з характеристиками хвилі, що поширюється по іншому шляху, або хвилі, що поширюється по тому ж шляху, але за відсутності матеріалу. Вимірювання зводяться до визначення комплексного коефіцієнта передачі ділянки напрямленої системи, заповненої досліджуваною речовиною (коефіцієнтів поглинання й відбиття, як функції вологовмісту). Такою системою може бути як хвилевід, частково або повністю заповнений матеріалом, так і область вільного простору, у якій поширюються електромагнітні коливання НВЧ. Оптичні методи одержали найбільше застосування, оскільки їхньою характерною рисою є безконтактність процесу вимірювання, можливість інтегральної оцінки вологості в більших об'ємах (більша інформаційна ємність методу) [2].

Резонансний метод заснований на вимірюванні параметрів резонатора при внесенні в нього досліджуваного матеріалу. Вимірюючи частоти резонатора, визначають діелектричну проникність, а вимірюючи її добротність визначають коефіцієнт втрат.

Хвилеводні методи вимірювання вологості засновані на визначенні безконтактно діелектричної проникності й питомої електропровідності рідких середовищ. Для цього у хвилеводі, заповненому досліджуваною речовиною, створюється режим біжучих хвиль. Вимірюють послаблення поля поверхневої повільної хвилі в нормальній і горизонтальній площинах щодо напрямку її поширення й за розрахованим значенням коефіцієнтів послаблення поля в нормальній площині судять про величину діелектричної проникності  $\epsilon$ , а за коефіцієнтом послаблення поля уздовж напрямку поширення хвилі отримують інформацію про величину питомої провідності  $\gamma$  [3].

Зондові методи використовують для вимірювання вологості локальних ділянок діелектричних середовищ, а також для визначення профілю або плану розподілу вологості, зокрема, тепличних субстратів, ґрунтів, сипучих мінеральних добрив, зернопродуктів тощо. Зондові НВЧ системи вимірювання вологості основані на впровадженні в досліджуване середовище первинного перетворювача вологості в параметри НВЧ-поля, попередньо відкаліброваного в сухому середовищі. У процесі вимірювання визначають значення резонансної частоти і добротності первинного вимірювального перетворювача та розраховують вологість ділянки досліджуваного середовища [4].

Слід зауважити що практично в усіх перелічених НВЧ методах необхідно знати геометричні розміри досліджуваного об'єкта, що не завжди є можливим. Ще одна складність у деяких випадках зумовлена необхідністю однозначного розміщення та орієнтації передавальних та приймальних елементів, оскільки будь-які антени мають певну діаграму спрямованості.

**Мета статті.** Розвиток НВЧ методів вимірювання вологості будівельних матеріалів та інженерних споруд для подальшого їх використання в системах неруйнівного моніторингу об'єктів довільної форми.

**Виклад основного матеріалу.** Хвилеводно-коаксіальний перехід є однією з важливих складових НВЧ техніки. Він широко використовується для взаємних підключень коаксіальних та хвилеводних ліній передач при формуванні НВЧ трактів.

Добре відомо, що в прямокутному хвилеводі довжина хвиль, що можуть розповсюджуватись, пов'язана з геометричними розмірами хвилеводу. Так, максимальна довжина хвилі типу  $H_{10}$  дорівнює подвійному розміру широкої стінки хвилеводу  $2a$ . Хвилі з меншими частотами мають великий коефіцієнт згасання. Цей факт використовується для створення сталих атенуаторів у вигляді відрізка хвилеводу певної довжини.

У цій роботі пропонується розширити функціональне призначення хвилеводно-коаксіального переходу і використати його як вимірювальний перетворювач системи неруйнівного моніторингу [5; 6].

Якщо на хвилеводно-коаксіальний перехід направити НВЧ сигнал з частотою трохи меншою за граничну, а потім поступово підвищувати її, то потужність, що потрапляє до коаксіальної лінії, буде зростати, оскільки ми будемо наблизатись до частот, на які, власне, і розрахований цей хвилеводно-коаксіальний перехід.

З іншого боку, у деяких речовин спостерігається зростання послаблення НВЧ сигналу зі збільшенням частоти. Таким чином, ці два протилежних фактори призводять до наявності на частотній залежності ступеня згасання НВЧ хвилі чітко спостережуваного мінімуму.

Отже, інформацією про рівень вологості речовини в цьому випадку є не ступінь послаблення НВЧ сигналу, а частота, на якій спостерігається мінімальний сигнал.

Для перевірки цього припущення було проведено відповідні експерименти з вимірювання вологості різних будівельних матеріалів цим методом. Структурна схема експериментальної установки представлено на рис. 2.

Основною складовою вимірювальної системи є комплекс Я2Р-67 – вимірювач коефіцієнта стоячої хвилі (КСВ) та послаблення.

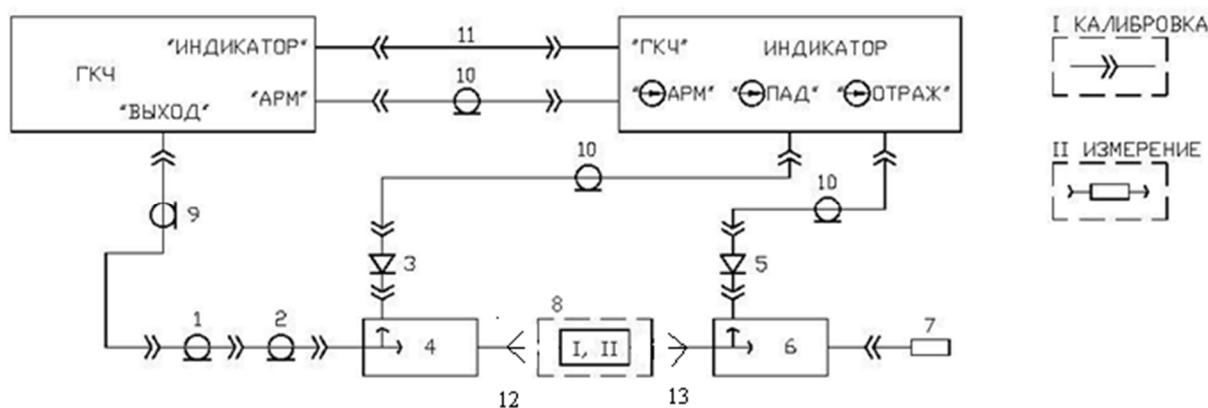


Рис. 2. Схема електрична структурна експериментальної установки:

1 – лінія коаксіальна; 2 – перехід коаксіальний; 3, 5 – головка детекторна; 4, 6 – спрямований відгалужувач; 7 – навантаження узгоджене; 8 – вимірювальний об'єкт; 9, 10 – кабель високочастотний з'єднувальний ВЧ; 11 – кабель з'єднувальний; 12 – передавальна антена; 13 – приймальна антена

НВЧ сигнал з виходу генератора качаючої частоти (ГКЧ) (рис. 2) за допомогою коаксіального кабелю 2 подається на вхід спрямованого відгалужувача 4. До виходу його вторинного каналу підключена детекторна головка 3. З неї сигнал падаючої хвилі спрямовується на вхід індикатора →ПАД. У блоці індикатора сигнал падаючої хвилі підсилюється і подається на роз'єм →АРМ. Останній з'єднаний зі входом АРМ ГКЧ. З виходу

первинного каналу спрямованого відгалужувача 4 хвиля поступає на досліджувальний зразок 8. Після проходження крізь речовину вона потрапляє на вхід другого спрямованого відгалужувача 6. До виходу його вторинного каналу підключена детекторна головка 5, з'єднана з входом індикатора →ОТРАЖ. За допомогою системи АРМ ГКЧ і вимірювача відношень індикатора отримується сигнал, пропорційний відношенню напруг на входах каналів відбитої (послабленої) та падаючої хвиль. Цей сигнал подається на синхронний детектор, в якому відбувається подальше підсилення і детектування. Вихідна напруга синхронного детектора подається на схему відхилення для візуальної індикації на екрані.

Елементи НВЧ тракту (спрямовані відгалужувачі, детекторні головки, випромінювачі, узгоджені навантаження) обирались відповідно до діапазону довжин хвиль, на яких проводились вимірювання.

Як передавальна та приймальна антени були використані хвилеводно-коаксіальні переходи. Звичайно, більш коректним було б використання рупорних антен і розміщення зразків у дальній зоні. Це необхідно при визначенні абсолютних величин затухання сигналу, визначенні відповідних коефіцієнтів та інших кількісних параметрів. Однак для виключення дифракційних явищ у нашому випадку розміри зразків та їх вага ставали досить значними, що значно ускладнювали б експеримент. А для досліджень деяких матеріалів (цегла, плитка облицювальна) виготовити такі зразки взагалі було б неможливо, оскільки вони виготовляються з розмірами, меншими за такі вимоги. Крім того, вимірювання носили відносний (порівняльний) характер, тому такий підхід був цілком виправданим.

Як приклад наводяться залежності послаблення НВЧ сигналу для двох будівельних матеріалів – черепашнику (рис. 4) і червоної цегли (рис. 5). Причому зразок черепашнику, спеціально вибирався неправильної геометричної форми (рис. 3).



Рис. 3. Досліджуваний зразок черепашнику

Вимірювання проводились для таких вихідних умов:

1. Товщина досліджуваних матеріалів на перевищує 5 см.
2. Вологість зразків змінювалась у межах від 1 до 10 %. Більший вміст води в звичайних умовах маловірогідний. Він може існувати в поверхневих шарах під час опадів, а також у вологих підвальних та виробничих приміщеннях, деяких підземних об'єктах. Для створення апаратури, що працює в таких умовах, треба проводити додаткові дослідження.
3. Був обраний частотний інтервал 2,3–8,0 ГГц.

Приклад отриманих залежностей мікрохвильового послаблення сигналу для двох будівельних матеріалів – черепашнику (рис. 4) і червоної цегли (рис. 5). Для всіх зразків мінімальні характеристики загасання НВЧ-сигналу спостерігаються на більш низьких частотах із збільшенням вологості зразка.

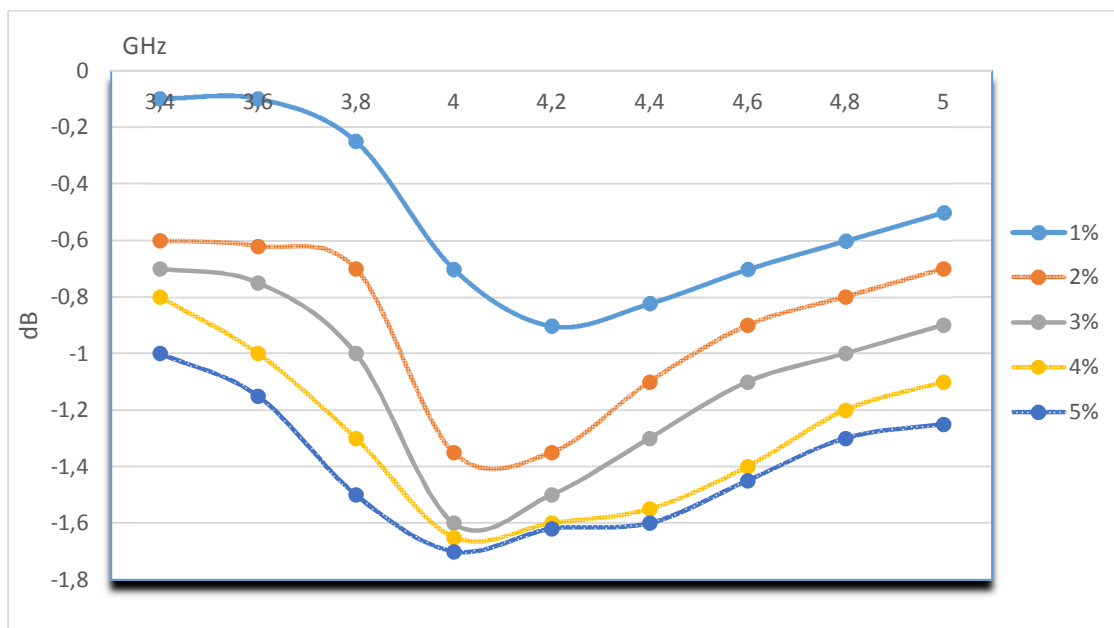


Рис. 4. Результат вимірювання послаблення НВЧ сигналу для ракушечника

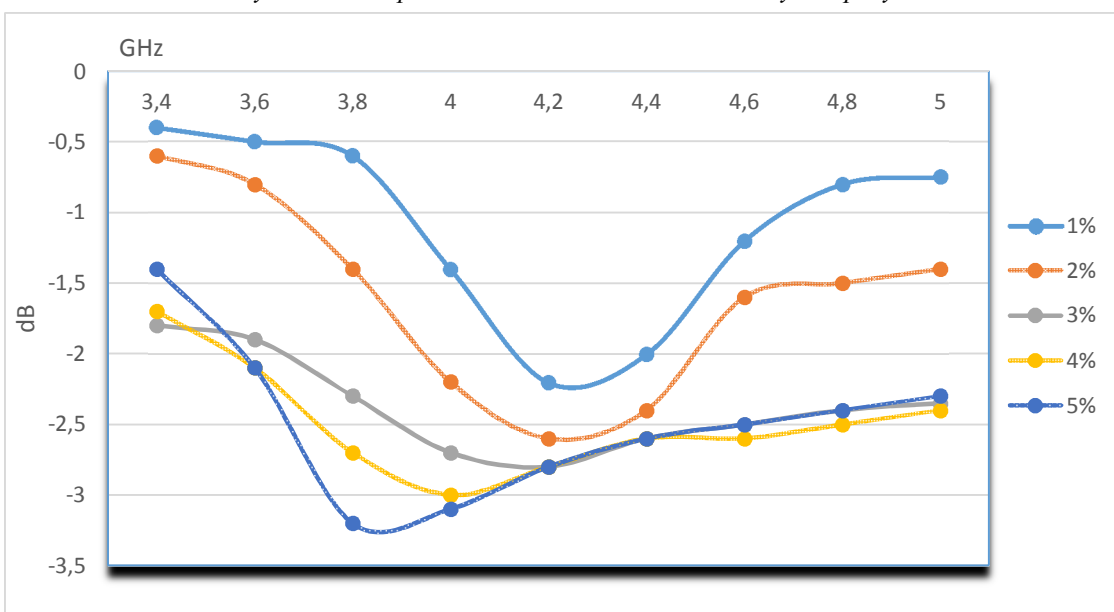


Рис. 5. Результат вимірювання послаблення НВЧ сигналу для червоної цегли

За результатами даних вимірювань побудовані залежності частоти, що відповідає максимальному послабленню, від рівня вологості (рис. 6, 7).

Для різних матеріалів залежність відрізняється. Чутливість вимірювальної системи:

$$s = \frac{\partial A_{\min}}{\partial H},$$

де  $A_{\min}$  – мінімум затухання, дБ;  $H$  – вологість, %.

Для черепашнику при рівні вологості до 3 %  $S=0,1$ , потім зменшується до  $S = 0,025$  за рівнем вологості більше 3 %. Для червоної цегли навпаки  $S=0,01$  для зниження рівня вологості до 3 %, потім збільшується до  $S = 0,15$  при рівні вологості більше 3 %.

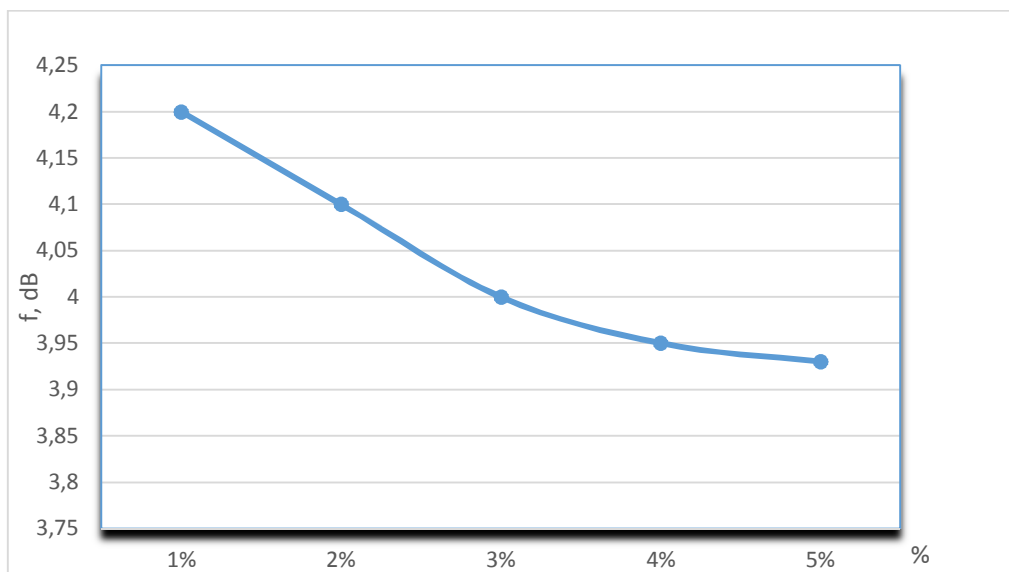


Рис. 6. Залежність частоти максимального послаблення сигналу від рівня зволоженості зразка з ракушечника

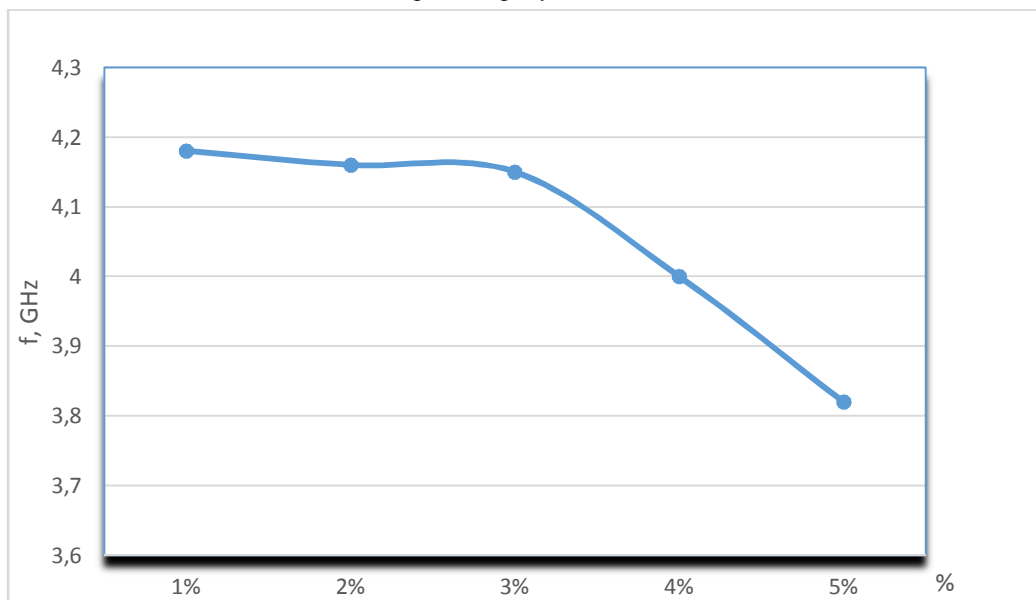


Рис. 7. Залежність частоти максимального послаблення сигналу від рівня зволоженості зразка з червоної цегли

**Висновки і пропозиції.** Представлені графічні залежності наглядно ілюструють, що інформацією про рівень вологості в цьому випадку є не ступінь послаблення сигналу, а частота, що відповідає максимальному послабленню. Вимірюючи цю частоту можна отримати інформацію про рівень вологості речовини. Нами встановлено, що частота максимального послаблення монотонно залежить від процента вологості досліджуваного зразка.

На основі проведених експериментів можна стверджувати, що хвильоводно-коаксіальний перехід у цьому випадку відіграє роль своєрідного вимірювального перетворювача та дозволяє розширити сферу використання НВЧ методів вимірювання вологості для об'єктів довільної форми.

Подальші дослідження для різних матеріалів можуть бути використані для створення методики вимірювань вологості тіл з неправильною геометричною формою з використанням запропонованого способу та проведення експериментів для більшої кількості різних будівельних матеріалів з метою підтвердження відзначених припущень.

**Список використаних джерел**

1. Бензарь В. К. Техника СВЧ-влажнометрии / В. К. Бензарь. – Минск : Вышэйшая школа, 1974. – 352 с.
2. Мироненко В. П. Об особенностях измерения влажности нефтепродуктов СВЧ-методами / В. П. Мироненко // Вестник Нижневартковского государственного университета. – 2011. – № 3. – С. 33–36.
3. Пат. 2331871 РФ, МПК G01N15/06, G01R27/26. Волноводный свч-способ измерения диэлектрической проницаемости жидких сред по критической длине волны.
4. Микроволновая термовлажометрия / П. А. Федюнин, Д. А. Дмитриев, А. А. Воробьев, В. Н. Чернышов ; под общ. ред. П. А. Федюнина. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 208 с.
5. Пат. 2092818 РФ, МПК G01N22/04. Волноводный свч-способ измерения диэлектрической проницаемости жидких сред по критической длине волны / Липунов Н. И. [UA], Корчемный Н. А. [UA], Бойко Л. М. [UA]. – № 92005855/09 ; заявл. 12.11.1992 ; опубл. 10.10.1997. Бюл. № 33. – 3 с. : ил.
6. Сатиуков А. І. Використання хвильоводно-коаксимального переходу при вимірюванні вологості тіл з довільною геометрією / А. І. Сатиуков, А. Л. Приступа // Збірник матеріалів науково-технічної конференції : тези конф., Фізика, електроніка, електротехніка / Сумський державний університет. – Суми, 2014. – С. 51.
7. Сатиуков А. І. Щодо можливості вимірювання вологості тіл з довільною геометрією за допомогою хвильоводно-коаксимального переходу / А. І. Сатиуков, А. Л. Приступа // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС-2014) : матеріали ІV Міжнародної науково-практичної конференції. – Чернігів : ЧНТУ, 2014. – С. 119–120 .

**References**

1. Benzar, V.K. (1974). *Tekhnika SVCh-vlagometii [Microwave moisture meter technique]*. Minsk: Vysheshaia shkola (in Russian).
2. Myronenko, V.P. (2011). Ob osobennostiakh izmereniia vlazhnosti nefteproduktov SVCh-metodami [On the features of measuring the moisture content of petroleum products by microwave methods]. *Vestnyk Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta – The Bulletin Of Nizhnevartovsk State University*, no. 3, pp. 33–36 (in Russian).
3. Lipunov, N.I. (1999). *Volnovodnyi svch-sposob izmereniia dielektricheskoi pronitsaemosti zhidkikh sred po kriticheskoi dline volny [Waveguide microwave method for measuring the permittivity of liquid media at a critical wavelength]*. Patent RF №2331871.
4. Fediunin, P.A. (ed.), Dmitriev, D.A., Vorobev, A.A., Chernyshov, V.N. (2004). *Mikrovolnovaia termovlagometriia [Microwave thermovergency]*. Moscow: Mashinostroenie-1 (in Russian).
5. Lipunov, N.I., Korchemnyi, N.A., Boiko, L.M. (1997). *Volnovodnyi svch-sposob izmereniia dielektricheskoi pronitsaemosti zhidkikh sred po kriticheskoi dline volny [Waveguide microwave method for measuring the permittivity of liquid media at a critical wavelength]*. Patent RF № 2092818.
6. Satiukov, A.I., Prystupa, A.L. (2014) *Vykorystannia khvylevodno-koaksialnogo perekhodu pry vymiriuvanni volohosti til z dovilnoi heometriieiu [Using a waveguide-coaxial transition in the measurement of humidity solids of arbitrary geometry]*. Proceedings from *Zbirnyk materialiv naukovotekhnichnoi konferentsii: tezy konf., Fizyka, elektronika, elektrotekhnika – Proceedings of the scientific conference: abstracts Conf., Physics, Electronics, Electrical Engineering*. Sumy, p. 51 (in Ukrainian).
7. Satiukov, A.I., Prystupa, A.L. (2014). *Shchodo mozhlyvosti vymiriuvanni volohosti til z dovilnoi heometriieiu za dopomohoiu khvylevodno-koaksialnogo perekhodu [As for the possibility of measuring the humidity solids of arbitrary geometry using waveguide-coaxial transition]*. Proceedings from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system (KZiATPS-2014): materialy IV Mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii – Integrated quality assurance processes and systems: IV International Scientific Conference*. Chernihiv, pp. 119–120 (in Ukrainian).

Anatoliy Satiukov, Anatoliy Prystupa, Yulia Lenko

**MICROWAVE METHOD OF MEASURING MOISTURE OBJECTS OF THE ARBITRARY FORM**

**Urgency of the research.** Modern production technologies are largely related to moisture content. Excess or lack of moisture in the material affects its properties and also on qualitative indicators. Fast and accurate moisture content in a given material is very important and urgent task.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The microwave methods widely used to measure the moisture of materials. Free water molecules to spin electromagnetic field, resulting in a slowed speed of radio waves and their intensity de-

creases. These effects are used to create devices and systems that measure humidity using microwave signals. The work of most of them is based on determining the value of the signal attenuation or changes in the dielectric constant wet substance. The most widespread microwave methods are optical, resonance, waveguide, probe methods.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The advantages of microwave measurement methods and control moisture include relatively high accuracy, non-destructive of the sample during the measurement, low power measuring systems and more. Almost all of these methods require knowledge of the geometric dimensions of the object that is not always possible. Also these methods require a certain location and orientation of the antenna, according to their pattern.

**The research objective.** The development of microwave moisture measurement methods of building materials and engineering constructions for further use in non-destructive monitoring of arbitrary shape objects.

**The statement of basic materials.** Waveguide-coaxial transition is one of the important components of microwave technology. It is widely used for mutual connections of waveguide and coaxial transmission lines when forming SHF channels. If microwave signal with a frequency slightly less than the maximum reaches the waveguide-coaxial transition and then frequency gradually increases, the power entering to the coaxial line will increase, because we approach the frequencies which are actually designed this waveguide-coaxial transition.

On the other side, some substances have the rise of microwave signal attenuation with increasing frequency. Thus these two opposing factors lead to the availability on frequency depending of the degree of attenuation SHF waves clearly minimum. The authors found that the frequency of maximum weakening depends on the percentage of humidity of the sample.

**Conclusions.** A new method of humidity control based on measuring the frequency at which the maximum microwave signal is attenuation in the waveguide-coaxial transition was offered. The results of experimental studies illustrate that frequency of maximum attenuation microwave signal depends on the humidity.

**Keywords:** waveguide-coaxial transition; measuring the humidity; measuring converter; microwave technology; non-destructive monitoring.

Анатолій Сатюков, Анатолій Приступа, Юлія Ленко

## СВЧ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ОБЪЕКТОВ ПРОИЗВОЛЬНОЙ ФОРМЫ

Для измерения влажности широко используются СВЧ-методы, среди которых наиболее распространенными являются оптические, резонансные, волноводные, зондовые методы. Все эти методы требуют знания геометрических размеров объекта, что не всегда возможно. Кроме того, данные методы требуют определенного расположения и ориентации антенн, согласно их диаграммам направленности. Предложен новый метод контроля влажности, который может использоваться для объектов произвольной формы. Данный метод основан на измерении частоты, при которой происходит максимальное ослабление СВЧ сигнала в волноводно-коаксиальном переходе, выступающем в роли приемного измерительного преобразователя. Представлены результаты экспериментальных исследований, которые наглядно иллюстрируют зависимость частоты максимального затухания СВЧ-сигналов от влажности.

**Ключевые слова:** волноводно-коаксиальный переход; измерения влажности; измерительный преобразователь; СВЧ-технологии; системы неразрушающего контроля.

**Сатюков Анатолій Іванович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-вимірjuвальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Сатюков Анатолій Іванович** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Satukov Anatoliy** – PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information and Measurement Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** 0000-0003-2901-1152

**Приступа Анатолій Леонідович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-вимірjuвальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Приступа Анатолій Леонідович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Prystupa Anatoliy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Information and Measurement Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** a.l.prystupa@gmail.com

**ORCID:** 0000-0001-9412-2698

**Ленко Юлія Валентинівна** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Ленко Юлия Валентиновна** – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Yulia Lenko** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** y.lenko2014@gmail.com



## РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-29-39

*Віталій Кальченко, Олег Деркач, Ярослав Кужельний*

### МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ОДИНИЧНИМ АБРАЗИВНИМ ЗЕРНОМ ПРИ КРУГЛОМУ ГЛИБИННОМУ ШЛІФУВАННІ

**Актуальність теми дослідження.** Якість та точність поверхневого шару деталі, в першу чергу, визначається параметрами операції шліфування. Процес різання, під час шліфування, виконується не всіма ріжучими зернами робочої поверхні абразивного круга, а тільки тими, що знаходяться над зв'язкою. На ефективність процесу шліфування впливають не тільки ріжучі кромки абразивних зерен, а також і деформуючі.

**Постановка проблеми.** Фінішні операції, в тому числі і шліфування, являють собою досить складний нестационарний, теплонапружений процес. 3D моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном дає змогу детально дослідити даний процес та підвищити ефективність фінішної обробки деталей.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В останніх дослідженнях було розглянуто методику визначення складових сил різання під час шліфування зі схрещеними осями інструменту та деталі, спосіб глибокого однопрохідного шліфування зі схрещеними осями інструменту та деталі. Розглянуто методологічні аспекти моделювання процесів різання методом скінченних елементів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність моделювання та дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном при круглому глибокому шліфуванні.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном при круглому глибокому шліфуванні.

**Викладення основного матеріалу.** Перед початком процесу різання абразивними зернами, відбувається доволі довготривале ковзання ріжучої кромки в місці контакту. Це ковзання супроводжується пластичною деформацією металу, що відбувається без зняття стружки. Використовуючи відповідне програмне обладнання, можливо створити 3D модель процесу різання одиничним абразивним зерном та визначити сили різання на даному зерні абразивного інструменту.

**Висновки відповідно до статті.** Вперше було створено 3D модель процесу різання одиничним абразивним зерном під час круглого глибокого шліфування та розглянуто сили різання у відповідних точках абразивного зерна. Дану модель можна використовувати для дослідження процесу різання торцем, перехідною кромкою та периферією шліфувального круга.

**Ключові слова:** процес шліфування; 3D-модель різання; абразивне зерно; схема різання; пляма контакту.

**Постановка проблеми.** Фінішні операції, в тому числі і шліфування, являють собою досить складний нестационарний, теплонапружений процес. Складність дослідження процесу різання під час шліфування полягає у імовірнісному розташуванні абразивних зерен. Таке розташування призводить до того, що певна частина роботи ріжучих країв буде витрачатися на деформування деталі, а інша на різання.

3D-моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном дає змогу детально дослідити цей процес та підвищити ефективність фінішної обробки деталей.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У роботі [11] розглянуто процес різання одиничним абразивним зерном, проте не було детального дослідження впливу деформуючих зерен під час шліфування. У роботах [7; 13] були розглянуті методики визначення складових сил різання під час шліфування зі схрещеними осями інструменту та деталі. Однак у цих роботах не було досліджено вплив процесу пружної деформації деталі під час шліфування.

У роботі [6] було розроблено новий спосіб глибокого однопрохідного шліфування зі схрещеними осями інструменту та деталі, а також математична модель процесу. Проте не було враховано впливу деформуючих і ріжучих країв абразивних зерен під час різання.

У монографії Д. В. Криворучко [8] було розглянуто методологічні аспекти моделювання процесів різання, використовуючи метод скінченних елементів [4]. Проте не було досліджено процес різання одиничним абразивним зерном.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Відсутність моделювання та дослідження процесу різання одиничним абразивним зерном при круглому глибокому шліфуванні.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном при круглому глибинному шліфуванні. Це дозволить детальніше дослідити процеси, що відбуваються під час шліфування, що у свою чергу впливають на якість обробленої деталі.

**Виклад основного матеріалу.** Процеси, що відбуваються під час різання, досліджували багато вчених: О. В. Якимов, Ф. В. Новіков, Ю. А. Сизий та інші. У роботі [5] було проведено аналіз робіт вищезгаданих авторів та запропоновано сучасні методи дослідження процесу різання. Також вивченню процесів, що відбуваються під час шліфування, було присвячено велика кількість робіт [1; 2; 3; 9; 10; 14].

Згідно з [11] під час шліфування процес різання виконується не всіма ріжучими кромками робочої поверхні абразивного круга, а тільки тими, що знаходяться над зв'язкою. Проте із числа ріжучих країв, що контактують з поверхнею деталі, стружку знімають тільки ті, які мають найбільш придатну форму вершин та необхідну глибину врізання в матеріал деталі.

Перед початком процесу різання абразивними зернами відбувається доволі довготривале ковзання ріжучої кромки в місці контакту. Це ковзання супроводжується пластичною деформацією металу. Інші ріжучі краї в цей час виконують роботу тертя і пружної та пластичної деформації, що відбувається без зняття стружки. Для визначення моменту, коли закінчується пластична деформація і починається зняття стружки, існує критерій, який є відношенням глибини врізання до радіусу заокруглення вершини ріжучого краю ( $a_z / \rho$ ). Тому на якість і точність поверхні деталі впливає не лише процес різання, а й пластичне деформування металу.

Робота кожної ріжучої кромки, під час процесу шліфування, витрачається на пластичне і пружне деформування, тертя між абразивним зерном та матеріалом деталі і на подолання інерційних сил, що виникають під час утворення стружки. Згідно з [11], схема утворення стружки при шліфуванні зображена на рис. 1.

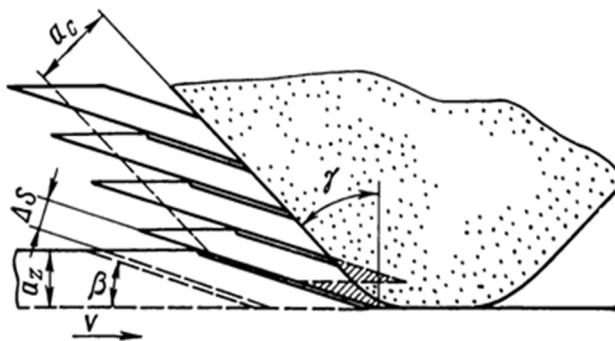


Рис. 1. Схема утворення стружки при шліфуванні:

$\beta$  – кут зсуву;  $\gamma$  – передній кут ріжучої кромки;  $a_c$  – товщина стружки;  $a_z$  – глибина врізання;

$V$  – швидкість різання;  $\Delta S$  – товщина зони зсуву

Джерело: [11].

Також у роботі [11] було розглянуто, що при визначенні сили різання, яка діє на кожне абразивне зерно, зазвичай розглядають врівноважений стан її складових, враховуючи вплив кожної складової у процесі шліфування. Під час зняття стружки вершиною абразивного зерна, діють сили стиснення і зсуву в площині зсуву, тертя і нормального тиску по задній поверхні ріжучого краю та інерційна сила стружки. Ці складові сили різання зображені у вигляді кругових діаграм (рис. 2).

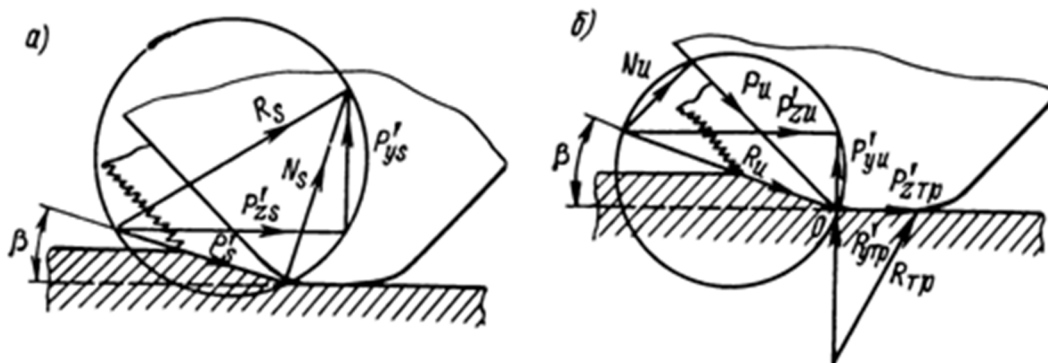


Рис. 2. Кругові діаграми сил зсуву (а), сил інерції та тертя (б), які діють при мікрорізанні одиничним абразивним зерном:  $P'_s$  – сила зсуву;  $P'_{zs}$  – тангенційна складова сили зсуву;  $P'_{ys}$  – радіальна складова сили зсуву;  $N_s$  – нормальна сила в площині зсуву;  $R_s$  – рівнодійна сили зсуву;  $R_{mp}$  – сила тертя;  $P'_{ytp}$  – радіальна складова сили тертя;  $P'_{ztp}$  – тангенційна складова сили тертя;  $P'_u$  – сила інерції;  $P'_{zu}$  – тангенційна складова сили інерції;  $P'_{yu}$  – радіальна складова сили інерції;  $R_u$  – рівнодійна сили інерції;  $N_u$  – нормальна складова сили інерції

Джерело: [11].

Шліфована поверхня деталі являє собою сукупність шліфованих рисок. Ці риски утворюються вершинами абразивних зерен (рис. 3).

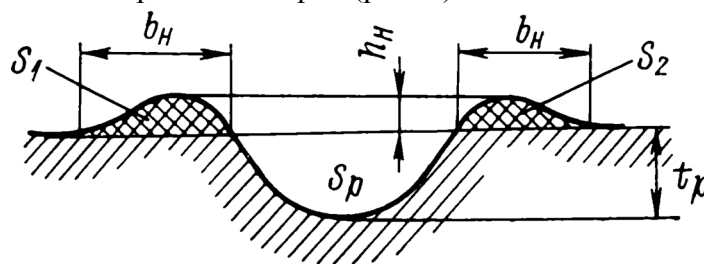


Рис. 3. Поперечний профіль шліфувальної риски із напливами:  $S_1, S_2$  – площа напливів;  $S_p$  – площа риски;  $b_n$  – ширина напливів;  $h_n$  – висота напливу;  $t_p$  – глибина шліфувальної риски.

Джерело: [11].

Згідно з [11], кількість ріжучих кромek можна визначити, використовуючи закон  $\beta$ -розподілу.

Інтегральна функція  $\beta$ -розподілу (1):

$$F(x', \gamma, \eta) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0, \\ \frac{\Gamma(\gamma + \eta)}{\Gamma(\gamma) \Gamma(\eta)} \int_0^x t^{\gamma-1} (1-t)^{\eta-1} dt & \text{при } 0 \leq x \leq 1, \\ 1 & \text{при } x \geq 1. \end{cases} \quad (1)$$

де  $\gamma, \eta$  – параметри  $\beta$ -розподілу, що визначаються із рівняння (2) і (3).

$$\eta = \left( \frac{1 - \bar{x}}{s^2} \right) [\bar{x}(1 - \bar{x}) - s^2], \quad (2)$$

$$\gamma = \frac{\bar{x} \eta}{(1 - \bar{x})}, \quad (3)$$

де  $\bar{x}$  – середньоарифметичне значення;  
 $s^2$  – оцінка дисперсії.

Знаючи параметри  $\gamma$  і  $\eta$   $\beta$ -розподілу для відповідних характеристик шліфувальних кругів та використовуючи вираз інтегральної функції розподілу, можна визначити число ріжучих країв  $N_z$  на заданому рівні і які приходяться на одиницю довжини робочої поверхні круга, за рівнянням (4):

$$N_z = N_n A \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(\eta-1)!}{(\eta-1-n)! n!} \frac{x^{n+\gamma}}{n+\gamma}. \quad (4)$$

Схема глибинного круглого шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі зображена на рис. 4.

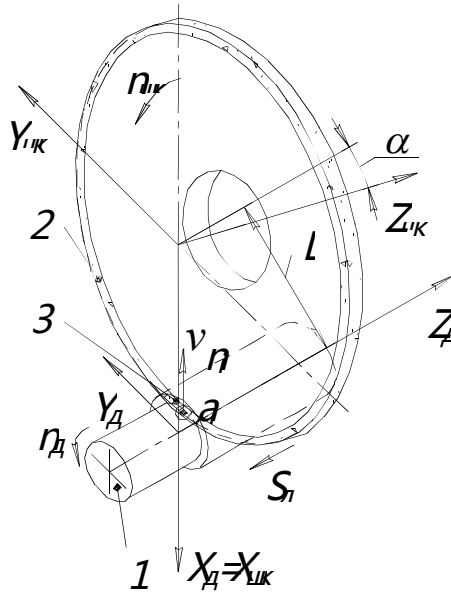


Рис. 4. Схема глибинного круглого шліфування зі схрещеними осями інструмента та деталі:  
 1 – деталь; 2 – інструмент; 3 – пляма контакту між інструментом і деталлю.  
 Джерело: [7].

У роботі [7] було визначено пляму контакту, сумарні нормальні  $P_{n_{ріж}}$ ,  $P_{n_{деф}}$  і тангенційні  $P_{\tau_{ріж}}$ ,  $P_{\tau_{деф}}$  складові сили різання по всьому профілю шліфувального круга в межах плями контакту, враховуючи величини нормальної швидкості  $v_n$ , радіусів округлення  $\rho$  ріжучих і деформуючих країв, за рівняннями (5–8):

$$P_{\tau_{ріж}}(v_n) = \begin{cases} \rho_3 \leftarrow \rho_{\min}(a_z(v_n), v_{ш}) \\ P \leftarrow \min(\rho_3, \rho_{\max}) \\ N_n \cdot \int_0^{\rho_{\max}} \frac{P \cdot a_z(v_n) - a_{z_{\min}}(\rho, \rho_{\max}, v_{ш})}{\rho_{\max}} \int_0^{h_n} f_N(z) \cdot f_{\rho}(\rho) \cdot P_{\tau}(a_z(v_n) - z \cdot h_n, \rho \cdot \rho_{\max}) dz \cdot d\rho, \end{cases} \quad (5)$$

$$P_{n_{ріж}}(v_n) = \begin{cases} \rho_3 \leftarrow \rho_{\min}(a_z(v_n), v_{ш}) \\ P \leftarrow \min(\rho_3, \rho_{\max}) \\ N_n \cdot \int_0^{\rho_{\max}} \frac{P \cdot a_z(v_n) - a_{z_{\min}}(\rho, \rho_{\max}, v_{ш})}{\rho_{\max}} \int_0^{h_n} f_N(z) \cdot f_{\rho}(\rho) \cdot P_n(a_z(v_n) - z \cdot h_n, \rho \cdot \rho_{\max}) dz \cdot d\rho, \end{cases} \quad (6)$$

$$P_{\tau_{деф}}(v_n) = \begin{cases} a_1 \leftarrow a_z(v_n) - a_{z_{\min}}(\rho_{\max}, v_{uw}) \\ Z \leftarrow \max(a_1, 0) \\ N_n \cdot \int_{\frac{Z}{h_n}}^{\frac{a_z(v_n)}{h_n}} \int_{\frac{\rho_{\min}(a_z(v_n) - z \cdot h_n, v_{uw})}{\rho_{\max}}}^1 f_N(z) \cdot f_\rho(\rho) \cdot P_\tau(a_z(v_n) - z \cdot h_n, \rho \cdot \rho_{\max}) d\rho \cdot dz, \end{cases} \quad (7)$$

$$P_{v_{деф}}(v_n) = \begin{cases} a_1 \leftarrow a_z(v_n) - a_{z_{\min}}(\rho_{\max}, v_{uw}) \\ Z \leftarrow \max(a_1, 0) \\ N_n \cdot \int_{\frac{Z}{h_n}}^{\frac{a_z(v_n)}{h_n}} \int_{\frac{\rho_{\min}(a_z(v_n) - z \cdot h_n, v_{uw})}{\rho_{\max}}}^1 f_N(z) \cdot f_\rho(\rho) \cdot P_n(a_z(v_n) - z \cdot h_n, \rho \cdot \rho_{\max}) d\rho \cdot dz. \end{cases} \quad (8)$$

Для створення 3D-моделі процесу різання одиничним абразивним зерном, було застосовано універсальне програмне забезпечення ABAQUS 6.12-1.

Матеріалом деталі була вибрана Сталь 45, а як абразивний інструмент – Електрокорунд білий. Характеристика матеріалів наведена в таблиці 1 і 2.

Таблиця 1

*Характеристики Сталі 45 (при температурі 20 °С)*

Густина, кг/м <sup>3</sup>	Модуль Юнга, МПа	Коефіцієнт Пуассона	Межа текучості σ <sub>т</sub> , МПа	Межа міцності σ <sub>в</sub> , МПа
7826	2·10 <sup>5</sup>	0,26	430	463

Таблиця 2

*Фізико-механічні властивості абразивного матеріалу*

Маркування	Густина, г/см <sup>3</sup>	Мікротвердість, ГПа	Теплостійкість, °С	Механічна міцність, Н	Абразивна здатність, г
25А	3,90 – 3,95	19,6 – 20,9	1700 – 1800	8,8 – 10,4	0,040 – 0,051

Джерело: [12].

У ролі вхідних даних було прийнято: передній кут ріжучого краю зерна γ = -30°, радіус заокруглення вершини ріжучої кромки ρ = 5 мкм, глибина врізання a<sub>z</sub> = 0,02 мм.

Для створення відповідної фізичної моделі процесу різання, були прийняті такі коефіцієнти визначального рівняння та рівняння пластичності (для Сталі 45) [8], що наведені в табл. 3.

Таблиця 3

*Коефіцієнти визначального рівняння та рівняння пластичності*

A	B	n	C	m	D1	D2	D3	D4	D5
410	280	0,47	0,0037	1,1	0	1,3	-0,17	0,063	2,8

Результат моделювання зображено на рис. 5.

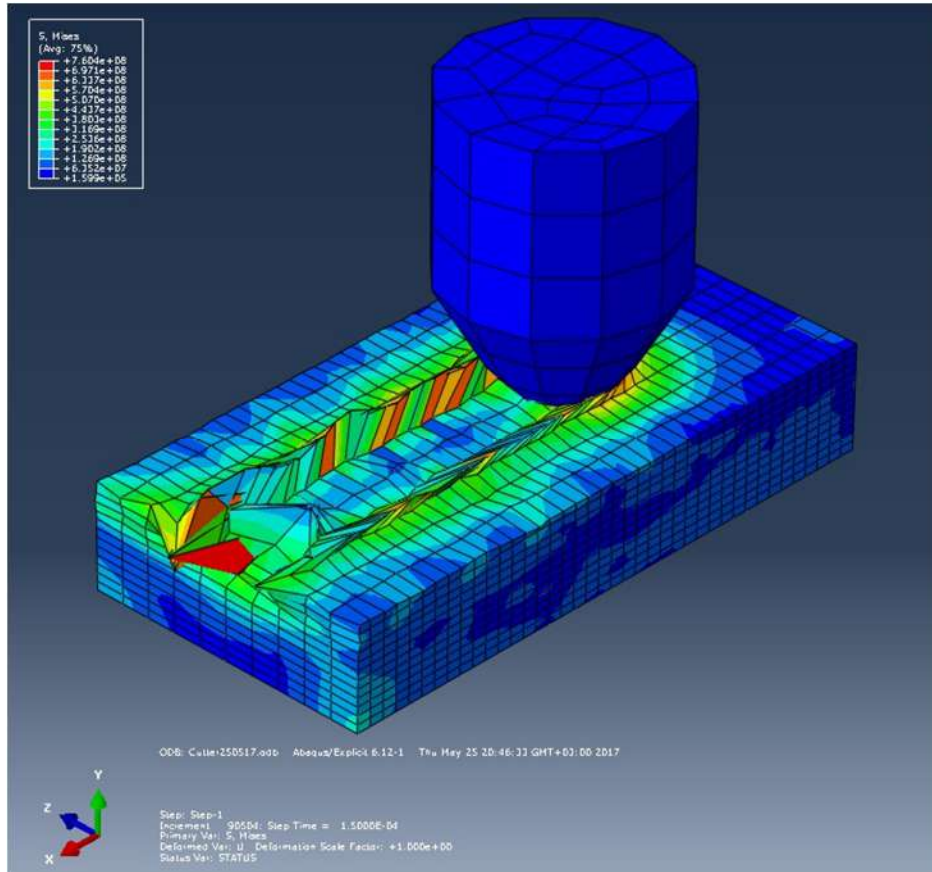


Рис. 5. 3D-модель процесу різання одним абразивним зерном

Точки, в яких визначались сили різання, зображені на рис. 6.

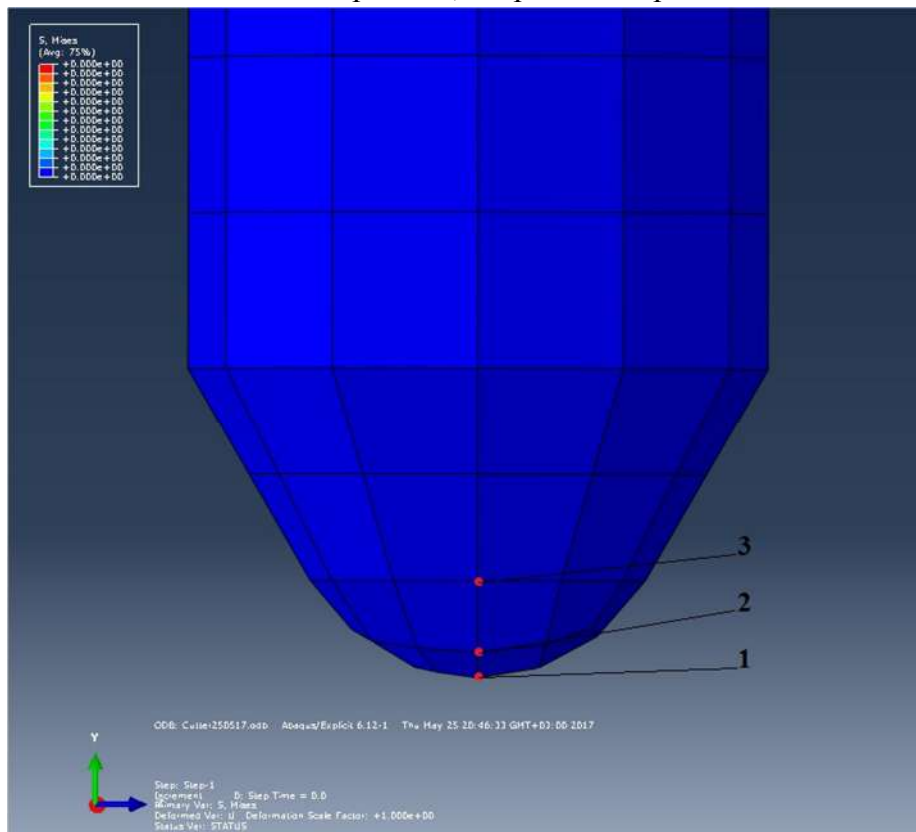


Рис. 6. Точки, в яких визначались сили різання

Для визначення сили різання у відповідних точках ріжучого зерна було використано результати 3D-моделювання.

Для точки 1 абразивного зерна величина сили різання зображена на рис. 7.

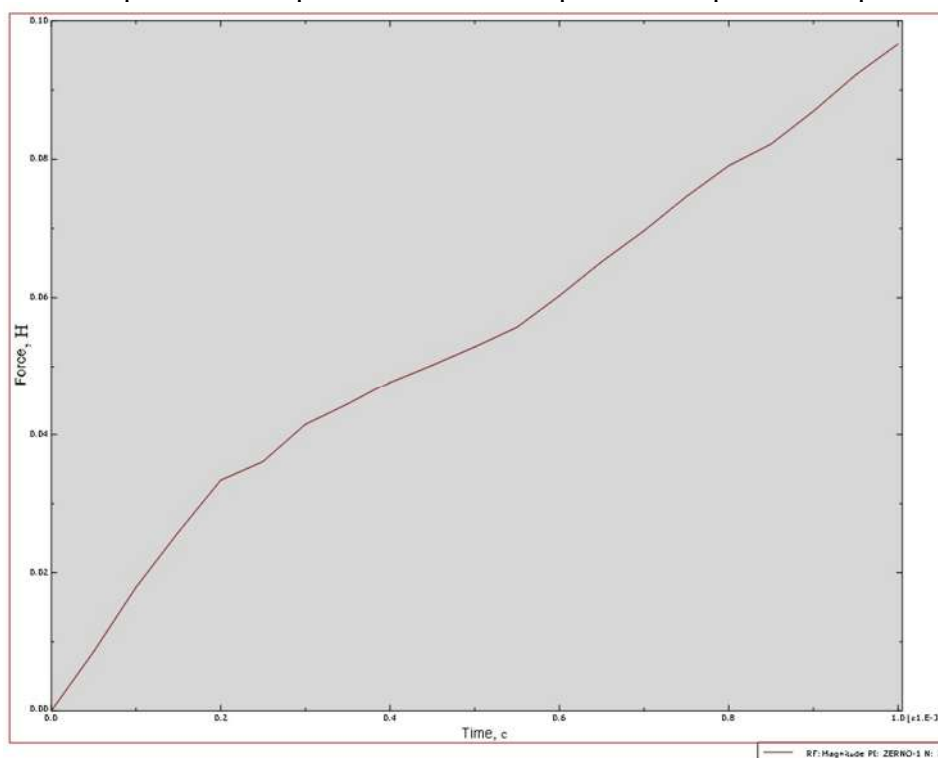


Рис. 7. Залежність часу від сили різання абразивного зерна в точці 1

Величина сили різання абразивного зерна в точці 2 зображена на рис. 8.

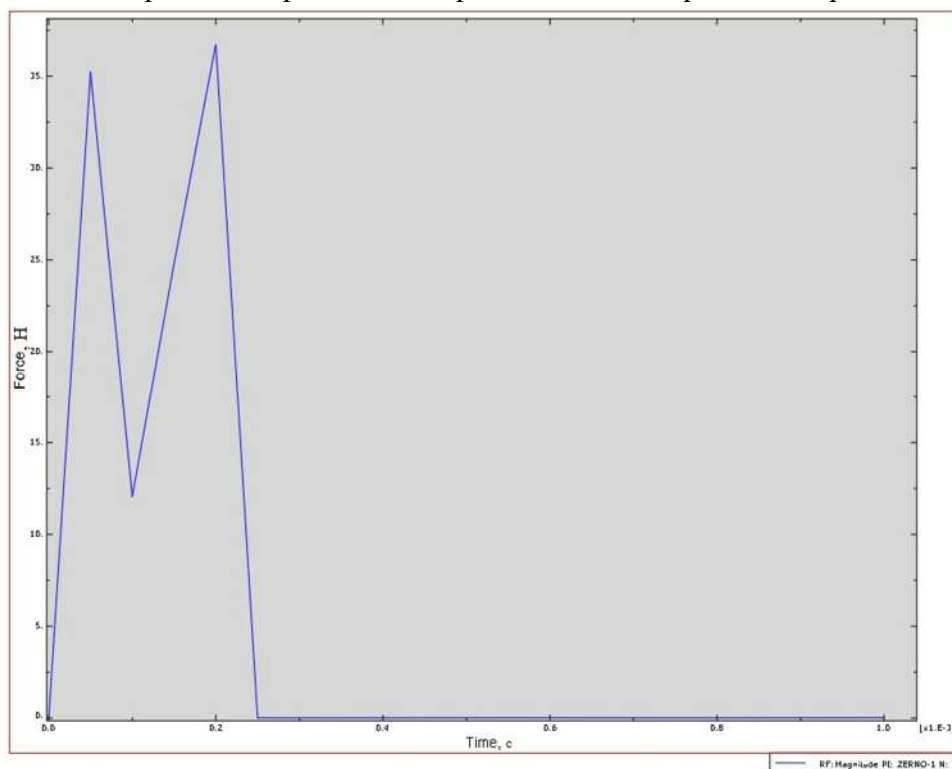


Рис. 8. Залежність часу від сили різання абразивного зерна в точці 2

Величина сили різання абразивного зерна в точці 3, зображена на рис. 9.

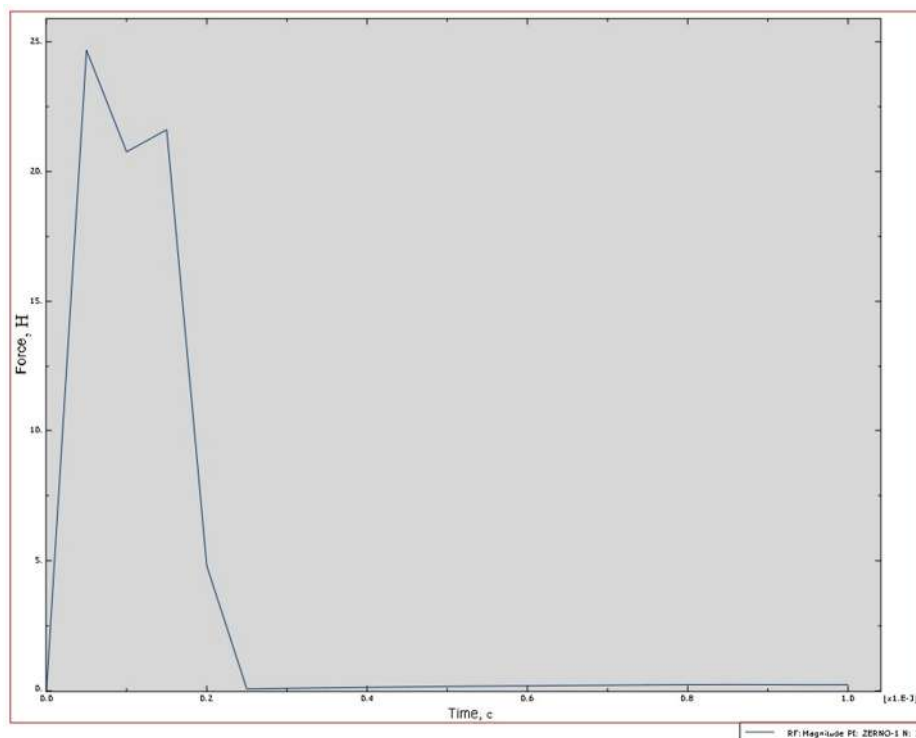


Рис. 9. Залежність часу від сили різання абразивного зерна в точці 3

**Висновки і пропозиції.** Вперше було створено 3D-модель процесу різання одиничним абразивним зерном під час круглого глибинного шліфування та розглянуто сили різання у відповідних точках абразивного зерна. Цю модель можна використовувати для дослідження процесу різання торцем, перехідним краєм та периферією шліфувального круга.

Використовуючи вищезгадані залежності (рис. 7, 8, 9), можна зробити висновок, що в точках 3 і 2 буде відбуватися процес різання деталі, а точка 1 виконує роботу тертя та деформування без різання.

У майбутньому ця модель буде використовуватись для визначення впливу сумарної сили різання та деформації на процес шліфування.

#### Список використаних джерел

1. *Бабенко Е. А.* 3D моделирование процесса алмазного шлифования методом конечных элементов / Е. А. Бабенко, В. А. Федорович // Международный научно-технический сборник «Резание и инструмент в технологических системах». – 2010. – № 78. – С. 16–23.
2. *Грабченко А. И.* 3D-моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования : учебное пособие / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Х. : НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
3. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.
4. *Дубенець В. Г.* Основи методу скінченних елементів : навч. посіб. / В. Г. Дубенець, В. В. Хільчевський, О. В. Савченко. – Чернігів : ЧДТУ, 2007. – 348 с.
5. *Кальченко В.* Аналіз методів дослідження теплонапруженості під час процесу шліфування / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Я. В. Кужельний // Технічні науки та технології. – 2016. – № 3 (5). – С. 43–50.
6. *Кальченко В. І.* Глибинне кругле шліфування зі схрещеними осями деталі і круга / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, М. А. Дмитренко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2009. – № 37. – С. 64–72.
7. *Кальченко В. И.* Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба,



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Д. В. Кальченко // Сверхтвердые материалы. – К. : Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2012. – № 2 (196). – С. 58–73.

8. *Криворучко Д. В.* Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 496 с.

9. *Методология 3D* моделирования процессов обработки труднообрабатываемых материалов / Д. В. Федоренко, В. А. Федорович, В. А. Залого, И. Н. Пыжов, Д. В. Криворучко // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2016. – № 11. – С. 208–232.

10. *Теоретичне та експериментальне дослідження процесу зняття припуску, зносу круга, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування циліндричних та ступінчатих валів зі схрещеними осями деталі та круга* / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. М. Єрошенко, Н. М. Сіра // Технічні науки та технології. – 2016. – № 4 (6). – С. 35–43.

11. *Филимонов Л. Н.* Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с.

12. *Филимонов Л. Н.* Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.

13. *Kalchenko V.* Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece / Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko, Sergiy Boyko, Nataliia Sira // Acta mechanica et automatica. – 2017. – №1 (11). – Pp. 58–63.

14. *Theoretical analysis of the contact area between grinding wheel surface and workpiece in flat face grinding with spindle axis inclination* / N. Kryukova, J. Kundráka, V. Fedorovich, I. Pyzhov, A. P. Markopoulou, V. Klimenok // Manufacturing Technology. – 2017. – № 7 (2). – Pp. 203–210.

### References

1. Babenko, E.A., Fedorovych, V.A. (2010). 3D modelirovanie protsessaalmaznogo shlifovaniia metodom konechnykh elementov [3D modeling of the diamond grinding process by the finite element method]. *Mezhdunarodnyi nauchno-tekhnicheskii sbornik "Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh"* – International scientific and technical collection "Cutting and tools in technological systems", no. 78, pp. 16–23 (in Ukrainian).

2. Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., Fedorovych V. A. (2006). *3D-modelirovanie almazno-abrazivnykh instrumentov i protsessov shlifovaniia* [3D-modeling of diamond-abrasive tools and grinding processes]. Kharkov, NTU «CHPI», (in Russian).

3. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I. & Kalchenko, V.V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivaiushchimisia osiami instrumenta i detail* [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]. Chernigov: ChDTU (in Russian).

4. Dubenets, V.H., Khilchevskiy, V.V., Savchenko, O.V. (2007). *Osnovy metodu skinchennykh elementiv* [Fundamentals of finite element method]. Chernihiv: ChDTU (in Ukrainian).

5. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V. & Kuzhelnyi, Y. V. (2016). Analiz metodiv doslidzhennia teplonapruzhenosti pid chas protsesu shlifuvannia [Analysis methods of research thermal stress during the grinding process]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 3(5), pp. 43–50 (in Ukrainian).

6. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V. & Dmy`trenko, M.A. (2009). Glybynne kruhle shlifuvannia zi shreshhenymy osiamy detali i kruha [Deep cylindrical grinding with crossed axes and circle details]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tehnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 37, pp. 64–72 (in Ukrainian).

7. Kalchenko, V.I., Pogiba, N.N. & Kalchenko, D.V. (2012). Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnostei vrashcheniia orientirovannym elborovym krugom [Determining cutting forces components in deep grinding of revolution surfaces oriented el'bor wheel]. *Sverkhтвердые материалы – Journal of Superhard Materials*, no. 2 (196), pp. 58–73 (in Ukrainian).

8. Kryvoruchko, D.V., Zaloha, V.A. (2012). *Modelirovanie protsessov rezaniia metodom konechnykh elementov: metodologicheskie osnovy* [Simulation of the cutting process using finite element method: methodological bases]. Sumu: Unyversytetskaia knyha (in Ukrainian).

9. Fedorenko, D.V., Fedorovych, V.A., Zaloha, V.A., Pizhov, I.N., Kryvoruchko, D.V. (2016). *Metodologiiia 3D modelirovaniia protsessov obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov* [Method-

ology of 3D processing modeling of hard-to-process material]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni – Modern technologies in engineering*, no. 11, pp. 208–232 (in Ukrainian).

10. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Yeroshenko, A. M., Sira N. M (2016). Teoretychne ta eksperymentalne doslidzhennia protsesu zniattia prypusku, znosu kruha, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pid chas shlifuvannia tsylindrychnykh ta stupinchatykh valiv zi skhreshchenymy osiamy detali ta kruha [Theoretical and experimental investigations process stock removal, wheel wear, forming accuracy and thermal voltage at grinding of cylindrical and stepped shafts with crossed axes of part and wheel]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, no. 4(6), pp. 35–43 (in Ukrainian).

11. Filimonov, L.N. (1979). *Vusokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).

12. Filimonov, L.N. (1985). *Ploskoe shlifovanie [Surface grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).

13. Kalchenko, V.V., Yeroshenko, A.M, Boyko, S.V., Sira, N.M.(2017). Determination of cutting forces in grinding with crossed axes of tool and workpiece. *Acta mechanica et automatica*, vol. 1, no. 11, pp 58–63.

14. Kryukova, N. J., Kundráka J., Fedorovich V., Pyzhov I., Markopoulouc A.P., Klimenkod V. (2017). Theoretical analysis of the contact area between grinding wheel surface and workpiece in flat face grinding with spindle axis inclination. *Manufacturing Technology*. no. 7 (2), pp. 203–210.

*Vitalii Kalchenko, Oleh Derkach, Yaroslav Kuzhelnyi*

## MODELING OF THE CUTTING PROCESS BY SINGLE ABRASIVE GRAIN AT ROUND DEEP GRINDING

**Urgency of the research.** The quality and accuracy layers surface of the part, in the first place, is determined by the parameters of the grinding operation. The cutting process, at grinding, is not performed by all the cutting grains of the working surface of the abrasive wheel, but only by those that are above the bunch. The effectiveness of the grinding process influences not only the cutting edge of abrasive grains, as well as wrought.

**Target setting.** Finishing operations including grindings, are rather difficult non-stationary, thermal stress process. 3D modeling of cutting process of single abrasive grain allows investigating in detail the process and increase efficiency finishing details.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In the last researches was considered the method of determining the components of the cutting forces during grinding with crossed axes tool and details, method of deep single-pass grinding with the crossed axes tool and detail. Considered a methodological aspects of modeling cutting processes by method of final elements.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Absence of design and research of cutting process by single abrasive grain at round deep grinding.

**The research objective.** The purpose of this work is modeling of cutting process by single abrasive grain at round deep grinding.

**The statement of basic materials.** Before beginning cutting process of abrasive grains a fairly long slip sliding of the cutting edge in the place of contact. This sliding is followed by plastic deformation of metal which occurs without shaving removal. Using appropriate software equipment may create a 3D model of cutting process single abrasive grain and determine the cutting force on this grain of abrasive tools.

**Conclusions.** The first was created 3D model of cutting process a single abrasive grain during at round deep grinding and considered cutting force in the relevant points of abrasive grain. This model can be used for a research of cutting process by an end face, a transitional edge and the periphery of a grinding circle.

**Key words:** grinding process, 3D model of cutting, abrasive grain, cutting scheme, contact spot.

*Віталій Кальченко, Олег Деркач, Ярослав Кужельний*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ ЕДИНИЧНЫМ АБРАЗИВНЫМ ЗЕРНОМ ПРИ КРУГЛОМ ГЛУБИННОМ ШЛИФОВАНИИ

Качество и точность поверхностного слоя детали, в первую очередь, определяются параметрами операции шлифования. Процесс резания, при шлифовании, выполняется не всеми режущими зёрнами рабочей поверхности абразивного круга, а только теми, что находятся над связкой. Однако из числа режущих зёрен, контактирующих с поверхностью детали, стружку снимают только те, которые имеют наиболее подходящую форму вершин и соответствующую глубину врезания в материал детали. Перед тем как абразивное зерно начнет резать деталь, будет происходить довольно длительное скольжение режущей кромки в месте контакта детали и шлифовального круга.

Работа посвящена моделированию процесса резания абразивным зерном при круглом глубинном шлифовании. Создана и проанализирована 3D-модель процесса резания пластического материала единичным абразивным зерном.

**Ключевые слова:** процесс шлифования; 3D-модель резания; абразивное зерно; схема резания; пятно контакта.

**Кальченко Віталій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Кальченко Виталий Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kalchenko Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kalchenkovi@mail.ru

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

**ResearcherID:** G-9477-2014

**Деркач Олег Леонідович** – аспірант кафедри технологій зварювання та будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Деркач Олег Леонидович** – аспирант кафедры технологий сварки и строительства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Derkach Oleh** – PhD student of the Welding Technology and Construction Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** derkach.oleh@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6783-8516>

**ResearcherID:** H-2074-2014

**Кужельний Ярослав Володимирович** – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Кужельный Ярослав Владимирович** – аспирант кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kuzhelnyi Yaroslav** – PhD student of the Road Transport and Industrial Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** J-1127-2016

УДК 621.923

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-40-48

*Володимир Кальченко, Олена Сліднікова, Володимир Винник, Олександр Литвин*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ З ТОРЦЯМИ РІЗНИХ ДІАМЕТРІВ ОРІЄНТОВАНИМИ ШЛІФУВАЛЬНИМИ КРУГАМИ

**Актуальність теми дослідження.** Для забезпечення високої ефективності обробки відповідальних торцевих поверхонь деталей різних діаметрів використовують двосторонні торцешліфувальні верстати, шліфувальні круги яких мають калібруючі ділянки, або ці ділянки відсутні.

**Постановка проблеми.** В умовах подальшого розвитку машинобудування актуальною є задача розробки і впровадження нових способів шліфування торцевих поверхонь деталей, які забезпечать підвищення продуктивності обробки при збереженні високої точності та якості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існують відомі способи шліфування деталей з торцями однакових діаметрів, також наведена модульна 3D-модель оброблюваної поверхні при двосторонньому шліфуванні торців деталей, яка використовується для розрахунку точності формоутворення та зняття припуску.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Дослідження процесу шліфування деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками.

**Постановка завдання.** Метою статті є дослідження процесу двостороннього шліфування деталей з торцями різних діаметрів та розрахунок сил різання, які виникають в процесі обробки торців різних діаметрів.

**Виклад основного матеріалу.** Представлений спосіб двостороннього шліфування деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками різної довжини, що забезпечує підвищення точності обробки. Запропоновано уникати суміщення входу однієї деталі в зону обробки та виходу з калібруючої ділянки іншої, що забезпечить підвищення точності обробки.

**Висновки.** Запропонований спосіб двостороннього шліфування деталей з торцями різних діаметрів шліфувальними кругами з калібруючими ділянками різної довжини, що забезпечує підвищення точності обробки.

**Ключові слова:** шліфування; різні діаметри торців деталей; орієнтовані шліфувальні круги; калібруючі ділянки; розрахунок сил різання.

**Постановка проблеми.** У сучасному машинобудуванні, автомобілебудуванні, авіабудуванні та інших галузях промисловості широко використовуються деталі з різними діаметрами торців, які мають високі вимоги до точності та якості оброблюваних поверхонь. При цьому необхідно забезпечити високу продуктивність їх обробки, при забезпеченні необхідної точності, що потребує розробки більш ефективних способів шліфування торців деталей.

**Аналіз досліджень і публікацій.** У роботі [1] розглядається двостороннє торцеве шліфування деталей з торцями однакових розмірів, шліфувальними кругами без калібруючих ділянок, що не потребує фіксації деталей в осьовому напрямку.

У [2–4] розглянуто двостороннє торцеве шліфування деталей з торцями однакових діаметрів профільованими шліфувальними кругами.

У роботі [5] наведена модульна 3D-модель оброблюваної поверхні при двосторонньому шліфуванні торців деталей, яка використовується для розрахунку точності формоутворення та зняття припуску.

У статтях [6–7] наведено розрахунок сил різання у процесі шліфування циліндричних поверхонь деталей орієнтованим шліфувальним кругом.

У роботі [8] розроблено методологію тривимірного моделювання процесів алмазно-абразивної та лезової обробки. Створено систему 3D-CAD моделювання процесів обробки, що дозволяє істотно скоротити обсяг експериментальних досліджень для визначення оптимальних умов шліфування і розробити нові технології, інструменти та устаткування.

У статті [9] розглянуті питання, пов'язані з перспективою розширення технологічних можливостей процесу плоского торцевого шліфування, а також вдосконалення процесу правки абразивних кругів.

У роботі [10] наведено комп'ютерне моделювання зони контакту шліфувального круга з деталлю при обробці на плоскошліфувальних верстатах.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Дослідження процесу шліфування деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками.

**Мета статті.** Метою статті є дослідження процесу двостороннього шліфування деталей з торцями різних діаметрів та розрахунок сил різання.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі обробки деталей з різними діаметрами торців сили різання виникають різні, що потребує збільшення жорсткості барабана, спеціальних пристроїв, які фіксують деталі в осьовому та радіальному напрямках. Тому виникає необхідність розрахунку сил різання, визначення похибки формоутворення та деформації від дії цих сил. Також необхідно створити модульну 3D-модель процесу шліфування для визначення сил різання.

На рис. 1 зображено розрахункову схему процесу двостороннього шліфування деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками різної довжини. Заготовки 6, закріплені в барабані подачі виробів 5, фіксують в осьовому та радіальному напрямках. Шліфувальні круги 3, 4 разом з шліфувальними бабками 1, 2 повернуті на кути  $\psi$  в вертикальній та  $\varphi$  в горизонтальній площинах відносно сферичних шарнірів 9. Кути орієнтації шліфувальних кругів вибираються залежно від величини припуску, що знімається з заготовки. Правка шліфувальних кругів відбувається алмазними олівцями 7, 8.

Запишемо радіус-вектор інструментальної поверхні шліфувального круга [11]:

$$\bar{R}_I = C_{Z_{ins}(i) \cdot \theta_{ins}}^I \cdot R_{ins}(i) \cdot \bar{e}_4, \tag{1}$$

де  $C_{Z_{ins}(i) \cdot \theta_{ins}}^I \cdot R_{ins}(i) \cdot \bar{e}_4$  – циліндричний інструментальний модуль;

$R_{ins}(i)$ ,  $Z_{ins}(i)$  – координати профілю шліфувального круга вздовж осей  $O_{шк}Y_{шк}$  та  $O_{шк}Z_{шк}$  системи координат  $X_{шк}Y_{шк}Z_{шк}$  відповідно;

$\theta_{ins}$  – кутовий параметр поверхні шліфувального круга;

$e_4 = (0,0,0,1)^T$  – радіус-вектор початку координат, який збігається з точкою алмазного олівця при профілюванні робочої поверхні круга і переміщується у площині, перпендикулярній осі  $O_{шк}Z_{шк}$  (рис. 1).

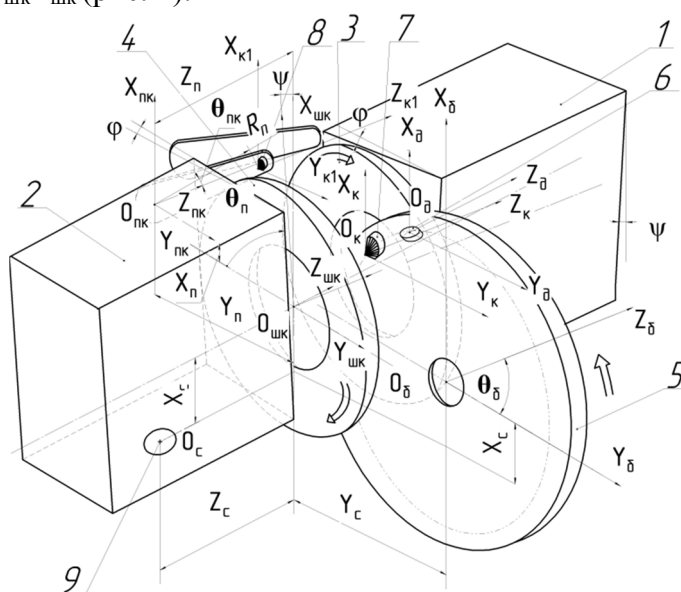


Рис. 1. Розрахункова схема формоутворення циліндричних деталей з торцями різних діаметрів

Номинальна поверхня оброблюваної деталі описується рівнянням:

$$\bar{R}_D = M_D \cdot \bar{R}_I, \quad (2)$$

де  $M_D$  – матриця переходу із системи координат інструмента в систему координат деталі.

Модульна 3D модель формоутворення торцевих поверхонь описується добутком 5 модулів: циліндричного інструментального  $C_{Z_{ins}(i) \cdot \theta_{ins}}^I \cdot R_{ins}(i)$ , сферичного орієнтації  $S_{\varphi \cdot \psi}^O \cdot X_c$ , прямокутного переносу  $P_{Z_c \cdot Y_c}^{II} \cdot X_c$ , циліндричного транспортування та подачі деталей  $C_{Z_{\phi} \cdot \theta_{\phi} \cdot Y_{\phi}}^T$ , циліндричного формоутворення  $C_{Z_{\phi} \cdot \theta_{\phi} \cdot Y_{\phi}}^{\Phi}$  та системою зв'язків.

$$\bar{R}_D = C_{Z_{\phi} \cdot \theta_{\phi} \cdot Y_{\phi}}^{\Phi} \cdot C_{Z_{\phi} \cdot \theta_{\phi} \cdot Y_{\phi}}^T \cdot P_{Z_c \cdot Y_c}^{II} \cdot S_{\varphi \cdot \psi}^O \cdot C_{Z_{ins}(i) \cdot \theta_{ins}}^I \cdot \bar{e}_4, \quad (3)$$

де  $\varphi, \psi$  – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній та вертикальній площинах відповідно;

$X_c, Y_c, Z_c$  – розміри, які визначають положення робочої площини круга щодо сферичного шарніра;

$\theta_{\phi}$  – параметр поверхні шліфувального круга, що відповідає за кутове положення точки робочої поверхні круга;

$Y_{\phi}, Z_{\phi}$  – координати оброблюваної деталі в системі координат подаючого барабана;

$Z_{\phi}, \theta_{\phi}, Y_{\phi}$  – аргументи однокоординатних матриць формоутворення.

Система зв'язків:

$$\left. \begin{aligned} R_{ins} &= R_{ins}(i), Z_{ins} = Z_{ins}(i), \psi, \varphi = const, X_c, Y_c, Z_c = const, \\ Y_{\phi} &= R_{\phi}, Z_{\phi} = Z_{\phi}(\theta_{\phi}), Z_{\phi} = Z_{\phi}(\theta_{\phi}), \theta_{\phi} = \theta_{\phi}(\theta_{\phi}), Y_{\phi} = const, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $R_{ins}(i), Z_{ins}(i)$  – координати профілю шліфувального круга, які зв'язані між собою за допомогою  $i$ -го параметра;

$R_{\phi}$  – радіус, на якому розташовуються осі заготовок і алмазного олівця в барабані подачі;

$Z_{\phi}(\theta_{\phi})$  – координата оброблюваної деталі в системі координат подаючого барабана, яка змінюється залежно від кута повороту барабана подачі виробів  $\theta_{\phi}$ ;

$Z_{\phi}(\theta_{\phi}), \theta_{\phi}(\theta_{\phi})$  – координати формоутворення поверхні деталі, що змінюються залежно від кута повороту барабана подачі виробів  $\theta_{\phi}$ ;

$Y_{\phi} = r_{\phi}$  – координата профілю інструмента, при обробці деталей з круглими торцевими поверхнями вона незмінна.

Умова контакту профілів інструмента та деталі:

$$\frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{ins}} \times \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial i} \cdot \frac{\partial \bar{R}_D}{\partial \theta_{\phi}} = 0. \quad (5)$$

На окреме зерно діють сили зсуву, тертя та інерції, для визначення їх проєкцій у радіальному та тангенціальному напрямку скористаємося формулами, наведеними в [12], і врахуємо при цьому зміну температури заготовки та знос шліфувального круга:

$$P^{\tau}(I) = P_{c\partial}^{\tau} + P_{mp}^{\tau} + P_{ин}^{\tau} = \tau_S \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sin(\beta + \varphi_S)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_S} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi\mu / (3\mu_S) + \dots \\ + \frac{\rho_M \cdot v \cdot (v - v_C \cdot \sin \gamma)}{\tau_S(\Theta)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{array} \right\}, \quad (6)$$

$$P^n(I) = P_{c\partial}^n + P_{mp}^n + P_{ин}^n = \tau_S \cdot z \cdot \rho \cdot \left\{ \begin{array}{l} \frac{\cos(\beta + \varphi_S)}{\sin \beta \cdot \sin \varphi_S} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} + 2\pi / (3\mu_S) + \dots \\ + \frac{\rho_M \cdot v \cdot v_C \cdot \cos \gamma}{\tau_S(\Theta)} \cdot \sqrt{2 \frac{z}{\rho}} \end{array} \right\}, \quad (7)$$

де  $P^{\tau}(\Theta)$ ,  $P^n(\Theta)$  – тангенціальна та нормальна складові сили мікрорізання одиничним зерном;

$I$  – знос шліфувального круга.

$P_{c\partial}^n$ ,  $P_{mp}^n$ ,  $P_{ин}^n$  – сили зсуву, тертя, інерції;

$\tau_S(\Theta)$  – напруги зсуву, які залежать від температури нагрівання матеріалу;

$z$ ,  $\rho$  – глибина проникнення вершини зерна в матеріал заготовки та радіус її заокруглення;

$\rho_M$  – щільність матеріалу заготовки;

$v$  – швидкість різання;

$v_C = v \sin \beta / \cos(\beta - \gamma)$  – проекція швидкості руху стружки на напрям переміщення

зерна відносно матеріалу заготовки;

$\beta$  – кут зсуву оброблюваного матеріалу;

$\gamma = \arcsin(1 - z / 2\rho)$  – передній кут ріжучої кромки;

$\mu_S$ ,  $\mu$  – коефіцієнти тертя у площині зсуву та на задній поверхні кромки;

$\varphi_S = \arctg \mu_S$  – кут тертя в площині зсуву.

При шліфуванні товщина шару  $a_z$ , що зрізується зерном, є основним елементом при аналізі процесу шліфування:

$$a_z = S_z \cdot n, \quad (8)$$

де  $S_z$  – подача на ріжучу кромку;

$n$  – вектор одиничної нормалі.

Для визначення сумарної сили різання потрібно знайти пляму контакту та провести інтегрування:

$$P_{\Sigma}^{\tau}(I) = \iint_S P^{\tau}(I) \cdot n(z, \rho) ds; \quad (9)$$

$$P_{\Sigma}^n(I) = \iint_S P^n(I) \cdot n(z, \rho) ds; \quad (10)$$

$P^{\tau}$ ,  $P^n$  – сили мікрорізання в тангенціальному та нормальному напрямку;

$n(z, \rho)$  – кількість абразивних зерен, розташованих на глибині  $z$  окружності радіуса  $\rho$ ;

$S$  – розмір плями контакту з урахуванням висоти мікронерівностей.

Також силу різання  $P_z$  можна визначити за емпіричною формулою [12]:

$$P_z = 9,8 \cdot C_{Pz} \cdot t^\alpha \cdot V_u^\beta \cdot S_n^\gamma \cdot k_{np}, \quad (11)$$

де  $C_{Pz}$  – коефіцієнт, що характеризує умови обробки;

$\alpha, \beta, \gamma$  – показники ступенів при елементах режимів різання;

$t$  – глибина різання;

$k_{np}$  – узагальнений поправочний коефіцієнт;

$S_n$  – подача.

Під час двостороннього торцевого шліфування за роторною схемою відбувається одночасна обробка певної кількості деталей, це потрібно враховувати при розрахунку сил різання.

Число деталей  $m$ , які одночасно оброблюються на верстаті, визначається з виразу:

$$m = \frac{L}{l}, \quad (12)$$

де  $L = R_\delta \cdot \theta_L$  – довжина дуги контакту, на радіусі  $R_\delta$ , (рис. 2) подаючого барабана 2, деталі 3 з кутом  $\theta_L$  у межах кута  $\theta_L$ ;

$l = R_\delta \cdot \theta_l$  – відстань між деталями на радіусі  $R_\delta$  барабана подачі виробів.

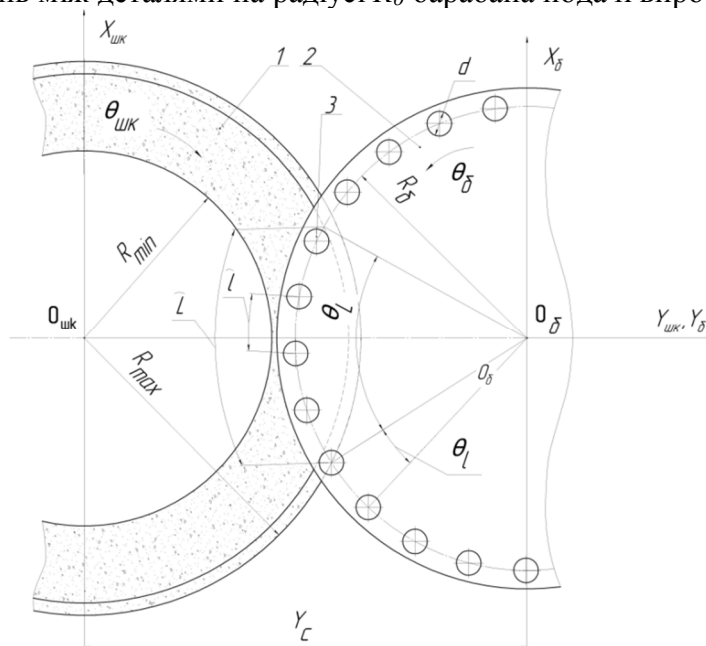


Рис. 2. Шліфування деталі з круглим профілем:

1 – шліфувальний круг; 2 – барабан подачі виробів; 3 – оброблювана деталь

Потужність шліфування  $N$  однієї деталі одним інструментом визначаються з виразу [5]:

$$N = a \cdot Q, \quad (13)$$

де  $Q$  – продуктивність шліфування [13];

$a$  – питома потужність, що витрачається на зняття одиниці об'єму, визначається експериментально.

Сили різання можна визначити за допомогою експериментально визначеної потужності за формулою:

$$P_{zi} = \frac{N_{pi} z_i}{V_i}, \quad (14)$$

де  $N_{pi}$  – потужність шліфування торців деталей;

$V_i$  – швидкість різання, яка визначається з рівняння (15):



$$V_i = \frac{\pi \cdot D_i \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (15)$$

де  $D_i$  – діаметр розташування центра деталі на поверхні шліфувального круга;

$n$  – частота обертання шліфувального круга.

При обробці деталей з різними діаметрами торців калібруючі ділянки шліфувальних кругів потрібно робити різної довжини (рис. 3).

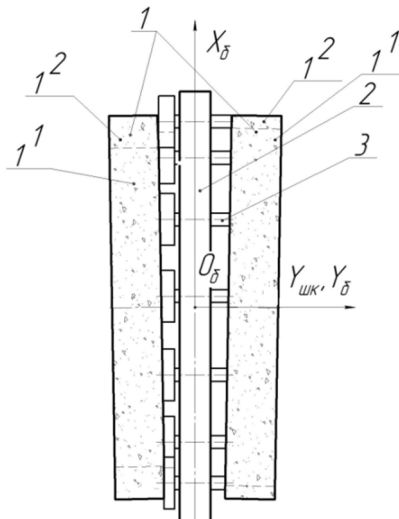


Рис. 3. Шліфування деталі з круглим профілем:

1 – шліфувальний круг; 2 – барабан подачі виробів; 3 – оброблювана деталь; 1<sup>1</sup> – чорнова ділянка шліфувального круга; 1<sup>2</sup> – калібруюча ділянка шліфувального круга

При вході деталі в зону обробки відбувається удар, що знижує точність обробки при чистовому шліфуванні на виході деталі з калібруючої ділянки шліфувального круга, тому розташування деталей у барабані обирається таким, щоб удар не відбувався при виході деталі з зони обробки. Відстань між деталями обирається рівною більшому оброблюваному діаметру торця.

**Висновки.** Розроблено спосіб двостороннього шліфування деталей з торцями різних діаметрів орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками різних розмірів, що забезпечує підвищення точності обробки. У відомих способах шліфування при вході деталі в зону обробки відбувається удар, що знижує точність обробки при чистовому шліфуванні на виході деталі із зони обробки, тому було запропоновано уникати суміщення входу однієї деталі в зону обробки та виходу з калібруючої ділянки іншої. Для цього відстань між деталями обирається рівною або більшою максимальному оброблюваному діаметру торця.

Наведено формули розрахунку сил різання одиничним зерном та загальні з врахуванням зносу шліфувальних кругів при одночасній обробці декількох деталей.

#### Список використаних джерел

1. *Saturn*. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с.

2. *Дослідження процесу однопрохідного двостороннього шліфування* / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : збірник наукових праць. – 2006. – Вип. 28. – С. 35–44.

3. *Деклараційний патент 10636 Україна на винахід (корисну модель), МПК В24В5/04. Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей* / Кальченко В. В., Жадан О. В. ; заявник та патентовласник Кальченко В. В., Жадан О. В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. №1.

4. Кальченко В. В. Профилирование ориентированных кругов при двустороннем шлифовании торцов цилиндрических деталей / В. В. Кальченко, Г. В. Пасов // Информационные технологии: наука, техника, образование, здоровье : тезисы докл. VII Междунар. науч.-техн. конф. (15-16 мая 1999 г., Харьков). – Х. : ХГПУ, 1999. – № 7, ч. 2. – С. 131–133.
5. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Издание 2-е, дополненное. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 504 с.
6. Кальченко В. И. Определение составляющих силы резания при глубинном шлифовании поверхностей вращения ориентированным эльборовым кругом / В. И. Кальченко, Н. Н. Погиба, Д. В. Кальченко // Сверхтвердые материалы : научно-теоретический журнал. – 2012. – № 2 (196). – С. 58–73.
7. Volodymyr Kalchenko. Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece / Volodymyr Kalchenko, Andriy Yeroshenko, Sergiy Boyko, Nataliia Sira // Acta mechanica et automatica, 2017. – Vol. 11, no. 1. – Pp. 58–63.
8. Методология 3D моделирования процессов обработки труднообрабатываемых материалов / В. А. Федорович, В. А. Залого, И. Н. Пыжов [и др.] // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. пр. – Х. : НТУ «ХП», 2016. – Вип. 11. – С. 208–232.
9. Деякі шляхи удосконалення процесу плоского торцевого шліфування / В. Г. Клименко, А. І. Грабченко, І. М. Пижов, В. О. Федорович // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2014. – Вип. 9. – С. 63–73.
10. Грабченко А. І. Комп'ютерне моделювання зони контакту торцевого круга з деталлю на плоскошліфувальних верстатах / А. І. Грабченко, І. М. Пижов, В. Г. Клименко // Важке машинобудування. Проблеми та перспективи розвитку : матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції. – Краматорськ, 2013. – С. 43.
11. Следнікова О. С. Модульне моделювання профілів кругів, зняття припуску та формотворення при двосторонньому шліфуванні торців некруглих деталей / О. С. Следнікова // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 3 (5). – С. 76–84.
12. Филимонов Л. Н. Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.
13. Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4 (2016). – С. 69-79.

### References

1. Saturn. Tortsevoe shlifovanie sparennyimi shlifovalnymi krugami: [Zhurnal dlia klientov firmy «Junkermaschinen»] (2005). ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. Nordrash, Germany (in Russian).
2. Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Rudyk A.V. & Venzheha V.I. (2006). Doslidzhennia protsesu odnoprokhidnoho dvostoronnoho shlifuvannia [Research of Single Pass bilateral grinding]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 28, pp. 35–44 (in Ukrainian).
3. Kalchenko, V.V., Zhadan, O.V. (2005). *Sposib odnochasnoho shlifuvannya dvokh tortsiv tsylindrychnykh detaley [Method simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. Deklaratsiinyi patent MPK V24V5/04 № u200505125 (in Ukrainian).
4. Kalchenko V.V. & Pasov H.V. (1999) Profilirovanie orientirovannykh krugov pri dvustoronnem shlifovanii torcov cilindricheskikh detalej [Profiling oriented circles at the ends of the bilateral grinding of cylindrical parts]. *Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, obrazovanie, zdorov'e : tezisy dokl. VII Mezhdunar. nauch.-tehn. konf – Information technology: science, technology, education, health: Abstracts. VII Intern. scientific and engineering. Conf., no. 7, part 2, pp. 131–133 (in Russian).*
5. Grabchenko, A.I., Kalchenko, V.I. & Kalchenko, V.V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivaiushchimisia osiami instrumenta i detail [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]*. Chernigov: ChDTU (in Russian).
6. Kalchenko, V.I., Pogiba, N.N. & Kalchenko, D.V. (2012) Opredelenie sostavliaiushchikh sily rezaniia pri glubinnom shlifovanii poverkhnostei vrashcheniia orientirovannym elborovym krugom [Determination of the components of the cutting force for deep grinding of surfaces of revolution by an oriented elbor wheel]. *Sverkhtverdye materialy – Superhard materials*, no. 2 (196), pp. 58–73 (in Russian).

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Kalchenko, V.V., Yeroshenko, A.M., Boiko, S.V. & Sira N.M. (2017). Determination Of Cutting Forces In Grinding With Crossed Axes Of Tool And Workpiece. *Acta mechanica et automatica*, vol. 11, no. 1, pp. 58–63 (in English).
8. Fedorovich, V.A., Zaloga, V.A., Pyzhov, I.N., Krivoruchko, D.V. & Fedorenko, D.V. (2016). Metodologiya 3D modelirovaniia protsessov obrabotki trudnoobrabatyvaemykh materialov [Modern technologies in mechanical engineering]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni – Modern technologies in engineering*, issue 11, pp. 208–232 (in Russian).
9. Klymenko, V.H., Hrabchenko, V.H., Pyzhov, I.M. & Fedorovich, V.A. (2014). Deaki shliakhy udoskonalennia protsesu ploskoho tortsevoho shlifuvannia [Some ways to improve the process of mechanical grinding flat]. *Suchasni tekhnologii v mashynobuduvanni – Modern technologies in engineering*, issue 9, pp. 63–73 (in Ukrainian).
10. Hrabchenko, A.I., Pyzhov, I.M. & Klymenko, V.H. (2013). Kompiuterne modeliuвання zony kontaktu tortsevoho kruha z detalliu na ploskoshlifovalnykh verstatak [Computer modeling of the contact circle of mechanical detail on Orbital machines]. *Proceedings from Vazhke mashynobuduvannia. Problemy ta perspektyvy rozvytku. Materialy XI mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Heavy engineering. Problems and prospects. Materials XI International Scientific Conference* (Kramatorsk, June 4-6, 2013). Kramatorsk: DDMA 2013. p. 43 (in Ukrainian).
11. Sliednikova O.S. (2016) Modulne modeliuвання profiliv kruhiv, zniattia prypusku ta formoutvorennia pry dvostoronnomu shlifuvanni tortsiv nekruhlykh detalei [Modular design profiles circles, removal allowance and forming at bilateral ends noncircular grinding parts]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, no 3 (5), pp. 76–84 (in Ukrainian).
12. Filimonov, L.N. (1985). *Ploskoe shlifovanie [Surface grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).
13. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Sliednikova, O.S., Kalchenko, D.V. (2016) Doslidzhennia protsesu shlifuvannia tortsiv oriientovanykh detalei profilovanymy kruhamy [Research grinding process ends oriented profiled parts circles]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin ChSTU. Series: Engineering*, no. 4 (2016), pp. 69–79 (in Ukrainian).

*Volodymyr Kalchenko, Olena Sliednikova, Volodymyr Vynnyk, Oleksandr Lytvyn*

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF BILATERAL GRINDING  
OF CYLINDRICAL PARTS WITH TORTS OF DIFFERENT DIAMETERS  
ORIENTED GRINDING WHEELS**

**Urgency of the research.** To ensure high efficiency of processing the critical end surfaces of parts of different diameters, use double-sided face grinding machines, grinding wheels of which have calibration areas or these areas are absent.

**Target setting.** In a further development of engineering relevant is the task of developing and implementing new methods of polishing end surfaces of parts that provide improved performance processing while maintaining high accuracy and quality.

**Actual scientific researches and issues analysis.** There are known methods of grinding parts ends with the same diameter, as shown modular 3D-model of the workpiece during grinding bilateral ends of parts, which are used to calculate the accuracy of formation and removal allowance.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Investigation of the grinding process of parts with end faces of different diameters by oriented grinding wheels with calibrating sections.

**The research objective.** The article is to study the process of grinding parts from bilateral ends of different diameters and calculation of cutting forces that arise during processing of the ends of different diameters.

**The statement of basic materials.** The presented method bilateral grinding of parts with end faces of different diameters by oriented grinding wheels with calibrating sections of different lengths, provides an increase in processing accuracy. Proposed avoid overlapping input audio items in a processing zone and exit from the gauge portion other, which will improve the processing accuracy.

**Conclusions.** The proposed method bilateral grinding of parts with various diameters of the ends of the grinding wheel with the metering portions of different lengths, which increases the precision in processing.

**Key words:** grinding, various diameters of the ends of parts, oriented grinding wheels, calibrating areas, calculation of cutting forces.

Владимир Кальченко, Елена Следникова, Владимир Винник, Александр Литвин

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ С ТОРЦАМИ РАЗНЫХ ДИАМЕТРОВ ОРИЕНТИРОВАННЫМИ ШЛИФОВАЛЬНЫМИ КРУГАМИ

*Исследование процесса двустороннего шлифования цилиндрических деталей с торцами разных диаметров ориентированными профилированными шлифовальными кругами при роторной схеме обработки. При шлифовании деталей с торцами разных диаметров калибрующие участки шлифовальных кругов предложено делать разной длины. Приведенные формулы расчета сил резания при двустороннем торцевом шлифовании. При входе детали в зону обработки происходит удар, что ухудшает точность обработки детали, которая выходит из зоны обработки, поэтому необходимо располагать детали так, чтобы при окончательной обработке одной детали не происходил вход другой детали.*

**Ключевые слова:** шлифование; разные диаметры торцов деталей; ориентированные шлифовальные круги; калибрующие участки; расчет сил резания.

**Кальченко Володимир Віталійович** – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Кальченко Владимир Витальевич** – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kalchenko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in Scientific and Pedagogical Work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** G-6752-2014

**Следнікова Олена Сергіївна** – асистент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Следникова Елена Сергеевна** – ассистент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Slidnikova Olena** – assistant, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** s\_lena\_s@bigmir.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5444-1747>

**ResearcherID:** N-4430-2015

**Винник Володимир Олександрович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Винник Владимир Александрович** – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Vynnyk Volodymyr** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vowavynnyk7@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4179-5765>

**ResearcherID:** F-8938-2016

**Литвин Олександр Олександрович** – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Литвин Александр Александрович** – аспирант кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Lytvyn Oleksandr** – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** xpower4718@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5243-3970>

**Researcher ID:** J-1479-2016

*Євгеній Сахно, Сергій Пономаренко, Катерина Корнієць*  
**ПРОЕКТУВАННЯ НОВОЇ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ  
ЖИВЛЕННЯ ГІДРОСТАТИЧНИХ ОПОР**

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток технологічних систем вимагає від проектувальників автоматизувати робочі рухи машин та механізмів. В зв'язку з цим постає завдання автоматичної компенсації зазору в спряженні «вал-підшипник» при динамічній зміні зовнішнього навантаження на вал простими конструктивними засобами. Таке проектне рішення дозволяє проводити компенсацію величини зміщення в короткий час та з високою точністю, тим самим зменшуючи знос опорних шийок вала, що обертається в гідростатичній опорі.

**Постановка проблеми.** Одним з напрямків ефективного функціонування гідростатичних опор є автоматичне регулювання жорсткості та їх несучої здатності не змінюючи геометричні параметри підшипника. В зв'язку з цим постає задача підвищення експлуатаційних параметрів опор за рахунок вдосконалення конструктивних елементів гідростатичного вузла використовуючи нову конструкцію регулятора жорсткості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблему створення нових систем живлення гідростатичних опор представлено в ряді наукових робіт. Так, визначено векторні поля швидкостей та поле статичного тиску в щілині гідроопори. Досліджено параметри в'язкого руху робочої рідини в щілині сферичної опори при струменевому регулюванні та визначено перспективи проектування гідростатичних опор для високошвидкісної механічної обробки деталей на металорізальних верстатах.

**Виділення неосліджених частин загальної проблеми.** При проектуванні систем автоматичного регулювання переміщень вала в гідроопорі під час змінних навантажень виникає проблема вдосконалення системи управління процесом компенсації масляного клину в сполученні «вал - підшипник ковзання», рішення якої дозволяє зменшити коливання, силове навантаження на вал та зношування опорних шийок.

**Постановка завдання.** Головним завданням даної роботи є розробка теоретичних підходів щодо проектування нової системи живлення гідростатичних опор для стабілізації положення вала при його зміщенні під навантаженням.

**Виклад основного матеріалу.** Для стабілізації зазору у гідроопорі пропонується нова система живлення з регулятором жорсткості, яка дозволяє здійснювати контроль переміщень вала при різних навантаженнях безпосередньо в точці його найбільшого зміщення, що дає можливість своєчасної автоматичної компенсації витрати мастила в опорі з підвищенням її жорсткості у моменти перевантажень. В запропонованому регуляторі існує основна і додаткова система подачі робочої рідини до карманів підшипника від одного насоса. В основній системі живлення, рідина подається до карманів опори, а в додатковій системі живлення опори подача рідини відбувається через отвори, виконані безпосередньо у перемичці підшипника.

**Висновки відповідно до статті.** В роботі наведено теоретичні основи проектування нової системи живлення гідростатичних опор. Проведено моделювання процесу формування швидкостей руху робочої рідини в перетині гідроопори при додатковій подачі робочої рідини в спряження «вал-підшипник». Визначено силу тиску робочої рідини, що виникає в клиновидній щілині підшипника. Побудовано залежності витрат рідини в кармані гідростатичної опори від зміщення вала під навантаженням та амплітуди його коливань.

**Ключові слова:** гідростатична опора; система живлення; швидкість рідини.

**Постановка проблеми.** Одним із напрямків ефективного функціонування гідростатичних опор (ГСО) є автоматичне регулювання жорсткості та їх несучої здатності не змінюючи геометричні параметри підшипника, тому що конструктивні особливості вузлів машини повинні відповідати встановленим нормативам. У зв'язку з цим постає завдання підвищення експлуатаційних параметрів опор за рахунок вдосконалення конструктивних елементів гідростатичного вузла, використовуючи нову конструкцію регулятора жорсткості ГСО [1,2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблему створення нових систем живлення гідростатичних опор представлено в багатьох наукових працях. Так, у роботі [3] визначено векторні поля швидкостей та поле статичного тиску в щілині гідроопори. Досліджено параметри в'язкого руху робочої рідини в щілині сферичної опори при струменевому регулюванні. В роботах [4; 5] представлено систему автоматичного керування положенням шпинделя на основі регульованих радіальних гідростатичних підшипників. Розроблено лінеаризовану математичну модель системи та отримані характеристики її якості. Питання побудови динамічної моделі системи адаптивного керування точністю положення осі обертання шпинделя важкого токарного верстата на гідростатичних опорах досліджено в роботі [6]. У роботі [7] наведено перспективи проектування гідростатичних опор для високошвидкісної механічної обробки деталей на металорізальних верстатах.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** При проектуванні систем автоматичного регулювання переміщень вала в гідроопорі під час змінних навантажень виникає проблема вдосконалення системи управління процесом компенсації масляного клину в сполученні «вал – підшипник ковзання», рішення якої дозволяє зменшити коливання, силове навантаження на вал та зношування опорних шийок. Ефективним підходом вирішення поставленої проблеми є застосування керованих опор, які поряд з високою жорсткістю і демпфуючою здатністю дозволяють управляти положенням вала під час роботи машини. При цьому геометричні параметри масляного шару в гідростатичній опорі визначають жорсткість і величину зношування опорних шийок, ступінь стабілізації положення осі обертання вала під впливом зовнішнього навантаження і додаткові витрати робочої рідини.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розробка теоретичних підходів щодо проектування нової системи живлення гідростатичних опор для стабілізації положення вала при його зміщенні під навантаженням.

**Виклад основного матеріалу.** Для стабілізації зазору  $\delta$  у гідроопорі пропонується нова система живлення з регулятором жорсткості [1; 2], яка дозволяє здійснювати контроль переміщень вала при різних навантаженнях безпосередньо в точці його найбільшого зміщення (рис. 1, а), що дає можливість своєчасної автоматичної компенсації витрати масла у ГСО з підвищенням її жорсткості у моменти перевантажень. У запропонованому регуляторі існує основна і додаткова система подачі робочої рідини до карманів ГСО від одного насоса [2]. В основній системі живлення рідина подається до карманів опори, а в додатковій системі живлення опори подача рідини відбувається через отвори, виконані безпосередньо у перемичці підшипника.

Розглянемо процес обертання вала в гідроопорі (на рис. 1 представлена двухсекційна конструкція опори), де вал 3 під дією відцентрованих сил здійснює прецесійний рух. Унаслідок цього у спряженні «вал – секція гідроопори» формуються епюри швидкостей руху рідини, розподіл яких представлено на рис. 1. При зміщенні вала під навантаженням відбувається зменшення осьового зазору в опорі з  $\delta_1$  до  $\delta_2$ , і для уникнення металевих контактів між спряженими поверхнями в канали, що виконані в перемичках опори подається додатковий обсяг робочої рідини. Внаслідок цього відбувається зміна тиску на перемичках опори. В додаткові отвори опори пропонується подавати додаткові змінні витрати рідини  $q_1 - q_4$ , з тиском  $p_1 - p_4$ . При цьому слід мати на увазі, що  $q_i \ll Q_i$ , що виключає зміну нормального режиму роботи підшипника. Слід зазначити, що додатковий об'єм рідини подається короткочасно, і після стабілізації ударного навантаження подача рідини припиняється.

На рис. 1, б показано рух рідини через додатковий отвір, де епюра швидкості змінює свою форму і з'являються додаткові зони з протилежним напрямком руху робочої рідини. Слід зазначити, що виконання отворів у перемичці опори рекомендується під кутом  $\gamma_2$  до опорної поверхні для зменшення турбулентних процесів у щілині гідроопори.

При з'єднанні потоків рідини формується «поверхня розділу» (зона III на рис. 1, б). Завдяки змішуванню потоків епюра швидкості змінює свою форму з перетину 1-1 до перетину 4-4, на дожині  $x_1$  та вирівнюється на довжині  $x_2$  і набуває «нормального вигляду» у перетині 4-4. Через поверхню розподілу передається енергія  $\Delta E$  у зв'язку з наявністю сил тертя між окремими елементарними струмками, і створюються такі умови, за яких механічна енергія одного струменя передається іншому (сусідньому) струменю. При цьому відбувається «дифузія» механічної енергії через бічні поверхні струменів, і в результаті виникає потік енергії, що рухається впоперек потоку рідини. Наявність сил тертя в рідині обумовлює нерівномірний розподіл швидкостей у перетинах, передачу енергії рідини через поверхню розділу та дисипацію енергії, але для спрощення цих умов будемо вважати, що в межах розглянутої ділянки потоку рідина є ідеальною [8].

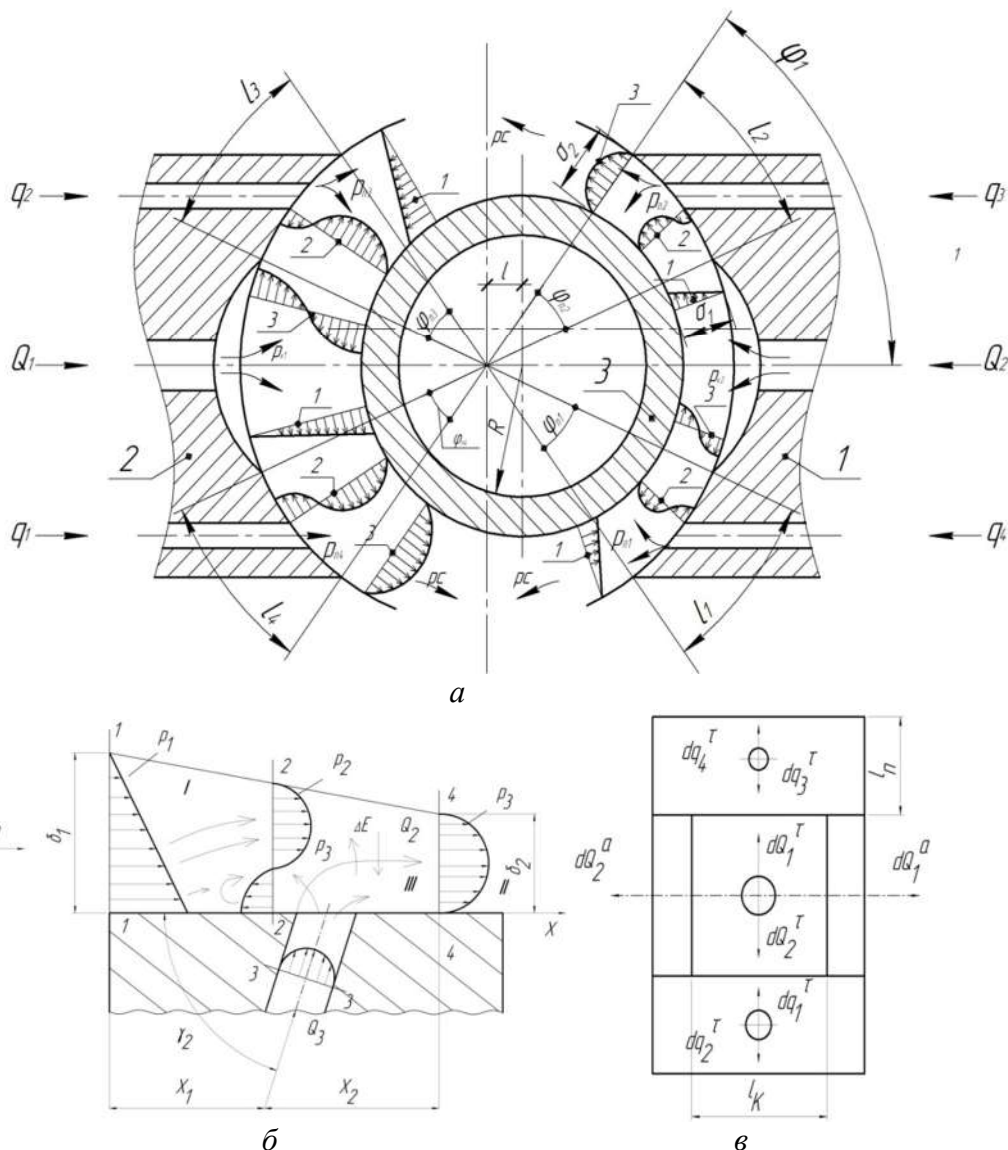


Рис. 1. Формування швидкостей руху робочої рідини в перетині гідроопори:  
 а – розподіл швидкостей по зазору в перетині гідростатичної опори;  
 б – формування швидкостей рідини на перемичках опори;  
 в – розгортка кармана опори:  $l_1-l_4, \varphi_{n1}-\varphi_{n4}$  – відповідно розміри та кути перемичок;  
 1, 2, 3 – етори швидкості рідини уздовж щілини

Відповідно до цього припущення і закону збереження енергії можливо визначити таке енергетичне рівняння:

$$\gamma Q_1 H_{e1} + \gamma Q_3 H_{e3} = \gamma Q_2 H_{e2} \text{ чи } Q_1 H_{e1} + Q_3 H_{e3} = Q_2 H_{e2}, \quad (1)$$

де  $Q_1, Q_2$  та  $Q_3$  – витрати рідини для окремих потоків;  $H_{e1}, H_{e2}$  та  $H_{e3}$  – напори (повні питомі енергії) відповідно в перетинах 2, 3 та 4.

З рівняння (1), враховуючи, що  $Q_1 + Q_3 = Q_2$ , можливо отримати залежність напору для ідеальної рідини від перетину 2-2 до перетину 4-4:

$$H_{e1} = H_{e2} + \frac{Q_3}{Q_1} (H_{e2} - H_{e3}). \quad (2)$$

На рис. 1, в представлена розгортка кармана ГСО на площину, де показано формування витрат рідини в аксіальному  $dQ_1^a, dQ_2^a$  та тангенціальному  $dQ_1^t, dQ_2^t$  напрямках

через основні та додаткові отвори, виконані в перемичках гідроопори з витратами  $dq_1^r$  та  $dq_2^r$ . Визначаючи витрати, потрібно мати на увазі, що в тангенціальному напрямку режим течії рідини в конусній щілині визначається різницею руху на вході і виході щілини, та швидкістю руху стінки (обертання вала в опорі), в аксіальному напрямку стінки не рухаються і швидкість течії рідини визначається лише різницею тиску:  $\Delta p = p_{к1} - p_0$ . Витікання рідини з кармана гідроопори в тангенціальному напрямі, в конусній щілині з рухомою стінкою, за умови напірної течії під впливом перепаду тисків  $\Delta p \neq 0$ ,  $k \neq 0$ ,  $V \neq 0$ , буде визначатися формулою [9]:

$$\frac{dp}{dx} = \left\{ q_v - \frac{2(1+k)}{(2+k) \cdot (1+kx)} \cdot [(1+k) + q_v] \cdot \frac{\Delta p}{l(1+kx)} \right\}, \quad (3)$$

де  $q_v$  – витрата рідини, що визначає зміну напрямку потоку;  $k$ ,  $x$  – параметри конічності щілини;  $\Delta p$  і  $l$  – відповідно перепад тиску і довжина щілини.

При проектуванні гідроопор для одновимірної течії рідини по зазору  $\delta$  між двома паралельними площинами (стінками, рис. 1, б) у напрямку осей  $x$ ,  $y$ ,  $z$  прийmemo:

$$\frac{\partial p}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial z} = 0; V_y = V_z = 0; \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{p_1 - p_2}{l}. \quad (4)$$

Таким умовам задовольняє рівняння гідродинаміки Нав'є-Стокса [8]:

$$\frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\mu \delta} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \approx \frac{1}{\mu \delta} \cdot \frac{\Delta p}{l}, \quad (5)$$

де  $\Delta p = p_1 - p_2$  – перепад тиску на щілині,  $l$  – довжина.

Інтегроване рівняння (5) для течії рідини під дією перепаду тиску  $\Delta p$  і руху однієї зі стінок зі швидкістю  $V_0$  при граничних умовах  $y = \delta/2$  при  $V_x = 0$  і  $y = -\delta/2$  при  $V_x = V_0$  дає такий розподіл швидкості по зазору та сумарну епюру 3 (рис. 1, в):

$$V_x = \frac{1}{2\mu\alpha} \cdot \frac{\Delta p}{l} \left[ \left( \frac{\delta}{2} \right)^2 - y^2 \right] \pm \frac{V_0 \left( \frac{\delta}{2} - y \right)}{\delta} = V_{x\Delta p} \pm V_{x\delta}. \quad (6)$$

Перший член рівняння (6) враховує зміну швидкості по координаті  $x$  при нерухомих стінках унаслідок перепаду тиску, а другий – унаслідок в'язкого тертя рідини (на підставі гіпотези Ньютонa) при русі однієї зі стінок зі швидкістю  $V_0$ . Позначивши окружну швидкість обертання вала як  $V = \omega R$  і прийнявши  $y = -\delta/2$ , коли  $V_x = V_0$  отримаємо, що

$$P_{mp} = \mu F \frac{\omega R}{\delta} - \text{сила в'язкого тертя, обумовлена другим членом формули (6).}$$

При обертанні вала під навантаженням має місце прецесія, коли вісь вала зміщується під дією відцентрових сил відносно осі підшипника, і здійснює навколо останньої планетарний рух. У положенні вала, показаного на рис. 1, а, радіальний зазор  $\delta_1$  на перемичці  $l_2$ , обмежений кутом  $\varphi_{n2}$  мінімальний, а на перемичці  $l_1$ , обмежений кутом  $\varphi_{n1}$ , максимальний. З огляду на малі довжини перемичок  $l_1$  і  $l_2$ , радіальні зазори розглядаємо наближено у вигляді плоскої щілини. Тоді сила тертя для потоку, викликаного перепадом тисків  $p_{к2} - p_c$ , для правої секції визначається при  $p_c = 0$  як:

$$P_{mp} = (\tau_1 l_1 - \tau_2 l_2) l_k = \frac{1}{b} P_{к2} l_k (\delta' - \delta''), \quad (7)$$



де  $\tau_1$  і  $\tau_2$  – питомі сили тертя;  $\tau_1 = \mu_{\partial} \frac{V_{x\Delta p}}{\delta'} = \mu_{\partial} \frac{1}{2\mu_{\partial}} \frac{P_{k2} (\delta')^2}{l_1 \delta' / 4} = \frac{P_{k2} \delta'}{8l_1}$ ;

$$\tau_2 = \frac{P_{k2} \delta''}{8l_2}; \delta' = \delta_0 (1 + \varepsilon \cos \gamma_1); \delta'' = \delta_0 (1 - \varepsilon \cos \gamma_2).$$

Аналогічно розраховується сила тертя на валу з боку лівої секції. Однак, оскільки перепад тиску  $p_{k1} - p_c$  на дроселюючих перемичках ненавантаженого кармана за даними експериментальних досліджень у кілька разів менше перепаду тисків  $p_{k2} - p_c$  на дроселюючих перемичках несучої кишені, ця сила тертя в подальшому не враховується.

Тепер розглянемо дію статичного тиску робочої рідини на вал, коли вона виходить з кишень гідроопори через конусні щілини, утворені між валом та опорою. В результаті зміщення валу під дією відцентрових сил на величину  $e$  на дроселюючих перемичках формується гідростатичний і гідродинамічний тиск (останній замалий і в розрахунок не береться).

Силу гідростатичного тиску на вал знайдемо інтегруванням тиску  $p(x)$  в клиноподібній щілині, як  $P = l_0 \int_0^l p(x) dx$ , де  $l$  і  $l_0$  відповідно довжина і ширина щілини  $0 \leq x \leq l$ .

Скористаємося залежностями:  $\overline{P(x)} = \frac{P(x)}{\Delta p}$ ;  $\overline{x} = \frac{x}{l}$ ;  $\overline{dx} = \frac{dx}{l}$ , де  $\Delta p$  – перепад тиску на щілині;  $\Delta p = p_k - p_c$ , тоді:

$$P = \Delta p l_0 l \int_0^1 \overline{P(x)} \overline{dx}. \quad (8)$$

Як відомо з [8; 9], розподіл тиску в конусних плоских щілинах при спільній дії перепаду тиску і рухів стінки зі швидкістю  $V$  підпорядковується закономірності:

$$\overline{p(x)} = \overline{p_k} - \frac{(1+k)^2 (2\overline{x} + k\overline{x}^2)}{(2+k)(1+k\overline{x})^2} + \frac{q_v k \overline{x} (\overline{x} - 1)}{(1+k\overline{x})(2+k)}, \quad (9)$$

де  $\overline{p_k} = \frac{p_k}{\Delta p}$  – відносний тиск на вході щілини;  $p_k$  – тиск у кармані опори;  $k$  – відносна різниця зазорів на вході і виході щілини;  $q_v = \pm 6lV\mu_{\partial} / \delta_0^2 \Delta p$ ;  $\delta_0$  – висота зазору на вході щілини.

Підставивши функцію (9) в рівняння (8), після інтегрування і перетворень отримаємо вираз:

$$P = l_0 l_p \Delta p \left[ \overline{p_k} - \frac{1+k}{2+k} + \frac{q_v}{k} \left( -\frac{\ln(1+k)}{k} + \frac{2}{2+k} \right) \right]. \quad (10)$$

Розрахунок сил  $P^B$  і  $P^H$  відповідно на верхній і нижній перемичках опори виконується за формулою (10) за таких вихідних даних:  $d = 0,1$  м,  $\varphi_n = 0,25$  рад,  $l_0 = 0,18$  м,  $l = 0,5$  м,  $d\varphi_n = 0,0125$  м,  $L = 0,03$  м,  $\varphi_k = 1,4$  рад,  $\eta = 33,3 \text{ с}^{-1}$ ,  $\Delta p = p_k = 10^5$  Н/м<sup>2</sup>,  $V = 10,5$  м/с,  $l = 0,05 \cdot 10^{-3}$  м,  $\kappa = -0,376$ ,  $q_v = 40$  (для верхньої перемички);  $\kappa = 0,176$ ,  $q_v = -3,8$  (для нижньої перемички). Абсциси точок прикладання результуючих сил  $P^B$  і  $P^H$  на верхній і нижній перемичках можна визначити наближено, як  $x_p = 0,5 l$  (через малість перемичок [9]).

При опозитному розташуванні секцій двухсекційної гідростатичної опори (рис. 2, а) рівняння несучої здатності опори приводиться до вигляду  $P_1 - P_2$ , де  $P_1$  і  $P_2$  відповідно сили тиску рідини, що діють на вал з боку секцій. Якщо прийняти товщину рідинного шару уздовж дуги опорної поверхні секцій однаковою, то рівняння несучої здатності можна записати у вигляді:

$$P = \frac{K_f F \mu \delta}{K_q} \left( \frac{Q_1}{\delta_1^3} - \frac{Q_2}{\delta_2^3} \right), \quad (11)$$

де  $F$  – повна площа проекції опорної поверхні секцій;  $K_f$  і  $K_q$  – відповідно коефіцієнти площі і витрати;  $Q_1 = Q_2 = Q$  – витрати рідини в секціях при підводі рідини через подільник потоку;  $\delta_1$  і  $\delta_2$  – робочі зазори в секціях 1 і 2.

Покладемо у рівняння (11)  $\delta_1 = \delta(1 - \varepsilon \cos \gamma)$ ;  $\delta_2 = \delta(1 + \varepsilon \cos \gamma)$ ;  $\varepsilon = \frac{e}{\delta}$ ;  $\cos \gamma = 1$ . Після перетворення отримуємо вираз витрат через секції:

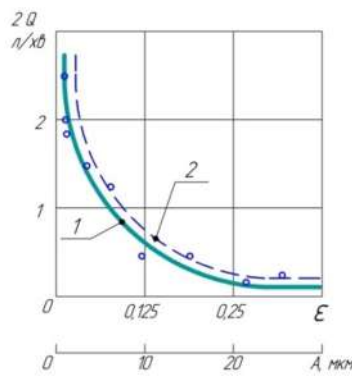
$$Q = \frac{PK_q \delta^3}{K_f F \mu \left( \frac{1}{(1 - \varepsilon)^3} - \frac{1}{(1 + \varepsilon)^3} \right)}. \quad (12)$$

Графік залежності витрати в гідроопорі через обидві секції відносно зміщення  $\varepsilon$ , побудований за формулою (12) при  $K_f = 0,7$ ;  $\mu_\delta = 9,17 \cdot 10^{-3}$  Па·с;  $\delta = 0,08$ ;  $K_q = 1,7$ ;  $F = 0,024 \text{ м}^2$ , наведений на рис. 2, б (крива 2).

Також на рис. 2 показані графіки експериментальної залежності амплітуди коливань шийки шпинделя від витрати робочої рідини в опорі (крива 1). Вони показують, що збільшення витрат знижує рівень коливань вала, що обумовлено підвищенням в'язкості несучого шару рідини. Однак при сумарних витратах в двох секціях опори  $Q_\Sigma$  більше 6 л/хв у дослідах спостерігалась нестійкість процесу роботи опори внаслідок резонансних явищ системи.



а



б

Рис 2. Визначення параметрів роботи підшипника:

а – схема секції гідростатичного підшипника з двома карманами; б – залежність витрат у гідростатичній опорі від відносного зміщення та амплітуди коливань вала

**Висновки і пропозиції.** У роботі наведено теоретичні основи проектування нової системи живлення гідростатичних опор. Проведено моделювання процесу формування швидкостей руху робочої рідини в перетині гідроопори при додатковій подачі робочої рідини у спряження «вал – підшипник». Визначено силу тиску робочої рідини, що виникає у клиновидній щилині підшипника. Побудовано залежності витрат рідини в кармані гідростатичної опори від зміщення вала під навантаженням та амплітуди його коливань.

#### Список використаних джерел

1. Патент 109810 (UA). Регулятор жорсткості гідростатичних опор / Сахно Є. Ю., Шевченко Я. В.; патентовласник Чернігівський національний технологічний університет. – № а201312230; заяв. 18.10.13; опубл. 12.10.15. Бюл. № 19.

2. Сахно Е. Ю. Новая гидромеханическая система стабилизации радиального положения кривошипа в гидроопоре / Е. Ю. Сахно, Я. В. Шевченко // Тяжелое машиностроение. – 2015. – № 1-2. – С. 37–42.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Яхно О. М. Наукові і прикладні аспекти струменевого регулювання течії в щілині сферичної гідростатичної опори / О. М. Яхно, С. В. Струтинський // Вісник НТУУ «КПІ». – 2011. – № 61. – С. 154–158.

4. Федориненко Д. Ю. Автоматичне керування положенням шпинделя на гідростатичних підшипниках / Д. Ю. Федориненко // Техніка в сільському виробництві. – 2013. – Вип. 26. – С. 273–279.

5. Сапон С. П. Підвищення точності регульованих гідростатичних опор шпинделя / С. П. Сапон, С. В. Бойко // Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – Вип. 22 (195). – С. 216–225.

6. Моделювання роботи шпиндельного вузла важкого токарного верстата з адаптивною системою живлення опор / В. Д. Ковальов, О. В. Пономаренко, М. С. Мельник, Я. В. Васильченко // Вісник ЖДТУ. – 2009. – № 49 (51). – С. 34–43.

7. Гордєєв О. Ф. Напрямки та перспективи розвитку конструкцій шпиндельних опор верстатів для високошвидкісної та високопродуктивної обробки / О. Ф. Гордєєв, П. О. Захаров // Наукові нотатки. – 2007. – Вип. 20, т. 1. – С. 96–101.

8. Чугаєв Р. Р. Гидравлика : учебник для вузов / Р. Р. Чугаев. – 4-е изд., доп. и перераб. – Л. : Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 672 с.

9. Никитин Г. А. Щелевые и лабиринтные уплотнения гидроагрегатов / Г. А. Никитин. – М. : Машиностроение, 1982. – 135 с.

### References

1. Sakhno, Ye.Yu., Shevchenko, Ya.V. (2015). *Rehuliator zhorstkosti hidrostatychnykh opor [The regulator is the rigidity of the hydrostatic supports]*. Patent UA № 109810.

2. Sakhno, E.Yu. Shevchenko, Ya.V. (2015). *Novaia gidromekhanicheskaia sistema stabilizatsii radialnogo polozhennia krivoshipa v gidroopore [New hydromechanical system of stabilization of the radial position of the crank in hydrophore]*. *Tyazheloe mashinostroenie – Heavy mechanical engineering*, no. 1-2, pp. 37–42 (in Russian).

3. Yakhno, O.M. & Strutynskiy, S.V. (2011). *Naukovi i prykladni aspekty strumenevoho rehuliuвання techii v shchylini sferychnoi hidrostatychnoi opory [Scientific and applied aspects of the jet regulating the flow in the gap of spherical hydrostatic supports]*. *Visnyk NTUU «KPI» – Bulletin of NTUU “KPI”*, no. 61, pp. 154–158 (in Ukrainian).

4. Fedorynenko, D.Yu. (2013). *Avtomatychne keruvannya polozhenniam shpyndelia na hidrostatychnykh pidshypnykakh [Automatic position control of the spindle on hydrostatic bearings]*. *Texnika v silskomu vyrobnyctvi – Technique in agriculture production*, no. 26, pp. 273–279 (in Ukrainian).

5. Sapon, S.P. & Boiko, S.V. (2011). *Pidvyshhennia tochnosti rehulovanykh hidrostatychnykh opor shpyndelia [Improving the accuracy of controlled hydrostatic spindle supports]*. *Naukovi praci DonNTU – Scientific works of Donetsk national technical University*, no. 22 (195), pp. 216–225 (in Ukrainian).

6. Kovalov, V.D., Ponomarenko, O.V. Melnyk, M.S., Vasylchenko, Ya.V. (2009). *Modeliuвання roboty shpyndelnogo vuzla vazhkoho tokarnoho verstata z adaptyvnoiu systemoiu zhyvlennia opor [Modeling of the spindle assembly heavy lathe with adaptive power system tower]*. *Visnyk ZhDTU – Bulletin of IGTU*, no. 49(51), pp. 34–43 (in Ukrainian).

7. Gordieiev, O.F. & Zaxarov, P.O. (2007). *Napriamky ta perspektyvy rozvytku konstruksii shpyndelnykh opor verstativ dlia vysokoshvydkisnoi ta vysokoproduktyvnoi obrobky [Trends and prospects in the development of designs spindle supports machines for high-speed and high-performance processing]*. *Naukovi notatky – Scientific notes*, no. 20, pp. 96–101 (in Ukrainian).

8. Chugaev, R.R. (1982). *Gidravlika [Hydraulics]* (4<sup>th</sup> ed., ext. and rev.). Leningrad: Energoizdat (in Russian).

9. Nikitin, G.A. (1982). *Shchelevye i labirintnye uplotneniia gidroagregatov [Slotted and labyrinth seals of hydraulic units]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).

### *Evgeny Sakhno, Sergey Ponomarenko, Kateryna Korniets* **DESIGN OF NEW AUTOMATED POWER SYSTEM OF HYDROSTATIC SUPPORTS**

**Urgency of the research.** *The development of technological systems requires the designers to automate the labour movement of machinery. Due to this there is a problem of automatic compensation of the gap in the pair "shaft-bearing" dynamic changes in the external load on the shaft simple design means Such design solution allows to compensate the displacement value in a short time and with high accuracy, thereby reducing the wear of the support cranks of the rotating shaft in the hydrostatic support.*

**Target setting.** One of the directions of the effective functioning of the hydrostatic support is the automatic control of stiffness and bearing capacity without changing the geometrical parameters of the bearing. In this regard, there arises a problem of increasing operational parameters of the supports due to the improvement of constructive elements of the hydrostatic node using the new controller design stiffness.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The problem of creating new power systems of hydrostatic supports are presented in some scientific papers. Thus, the vector field of velocities and static pressure in the well hydrostatic support are determined. The parameters of the motion of viscous fluid in the gap of the spherical support jet regulation and perspectives design of hydrostatic bearings for high speed machining of parts on machine tools are investigated.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There is a problem of improving the control system of the oil wedge compensation process in combination "shaft - slide bearing" appearing during designing of automatic shaft control systems for shifting loads. Its solution would allow to reduce the oscillation, the power load on the shaft and the wear of the support cervixes.

**The research objective.** The main objective of this work is development of theoretical approaches to the design of new power system of hydrostatic bearings for stabilizing the shaft during its displacement under load.

**The statement of basic materials.** To stabilize the gap in hydrostatic bearings it is proposed a new power system with a regulator of stiffness, which allows to control shaft displacement under different loads directly at the point of maximum displacement, that enables timely, automatic compensation of consumption of the lubricant in the support to increase its rigidity in moments of overload. In the proposed controller, there is a primary and secondary supply system of the working fluid to the bearing pockets from one pump. In the main supply system, the fluid is supplied to pockets of support and additional power system supports the flow of liquid coming through the holes made directly in the jumper of the bearing.

**Conclusions.** In the article theoretical bases of design of new power system hydrostatic bearings were given. The simulation of the process of working velocities formation of the fluid in the hydrostatic section of the support for additional supply of working fluid in pair "shaft-bearing" was done. The pressure force of the working fluid that occurs in the wedge-shaped gap of the bearing was defined. The dependences of liquid flow in the pocket of the hydrostatic support against displacement of the shaft under load and the amplitude of its oscillations was built.

**Keywords:** hydrostatic bearing, the power supply system, the fluid velocity.

*Евгений Сахно, Сергей Пономаренко, Екатерина Корниец*

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ НОВОЙ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ГИДРОСТАТИЧЕСКИХ ОПОР

*Рассмотрены вопросы проектирования новой системы питания гидростатических опор при вращении вала под нагрузкой. Предложена модель распределения скоростей движения жидкости и давления в сечении гидростатической опоры при подаче дополнительного объема масла в зазор между валом и подшипником.*

**Ключевые слова:** гидростатическая опора; система питания; скорость жидкости.

**Сахно Євгеній Юрійович** – доктор технічних наук, професор кафедри публічного управління та менеджменту організацій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Сахно Евгений Юрьевич** – доктор технических наук, профессор кафедры публичного управления и менеджмента организаций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Evgeny Sakhno** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Public Administration and Management, Chernihiv National University of Technology (95, Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** evsakhno@yandex.ua

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

**Researcher ID:** M-3987-2016

**Пономаренко Сергій Іванович** – кандидат економічних наук, доцент, декан факультету проектного менеджменту, управління якістю та життєзабезпечення, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Пономаренко Сергей Иванович** – кандидат экономических наук, доцент, декан факультета проектного менеджмента, управления качеством и жизнеобеспечения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Sergey Ponomarenko** – PhD in Economics, Associate Professor, Dean of the Faculty of Project Management, Quality Management and Life Support, Chernihiv National University of Technology (95, Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** dekanat\_pmuy@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0714-7972>

**Researcher ID:** H-6726-2014

**Корниец Катерина Євгенівна** – магістр кафедри публічного управління та менеджменту організацій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Корниец Екатерина Евгеньевна** – магістр кафедри публічного управління та менеджменту організацій, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kateryna Korniets** – master of Department of Public Administration and Management, Chernihiv National University of Technology (95, Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kate.korniets@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7218-5089>

*Олег Шаповалов, Денис Колесник, Геннадій Болотов, Олексій Журахов*

## **АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ І ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНИХ ТИПІВ СИЛОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ**

**Вступ.** Застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА) дозволяє суттєво підвищити можливості проведення військових операцій, різних гуманітарних акцій. Військово-політична обстановка, що склалася в Україні в останні роки, викликає необхідність негайного підвищення боєздатності збройних сил, зокрема і завдяки інтенсивній розробці сучасних БПЛА різного функціонального призначення.

**Постановка проблеми.** Одним з головних вузлів БПЛА є силова установка, яка забезпечує його основні тактико-технічні характеристики: масо-габаритні показники, дальність польоту, практичну стелю, корисне навантаження. Однак, вимоги до силових установок БПЛА на даний час досить суперечливі і тому потребують узагальнення відповідно до національної класифікації БПЛА.

**Мета роботи.** Метою роботи є аналіз конструктивних особливостей, технічних характеристик та функціонального призначення силових установок, встановлюваних на сучасні вітчизняні БПЛА згідно їх національної класифікації.

**Викладення основного матеріалу.** Суттєвою перевагою БПЛА є прив'язка його розмірів не до льотного екіпажу, а тільки до корисного навантаження. Це дає змогу створювати широку гаму БПЛА вагою від одиниць до сотень кілограмів. В цих умовах важливою є задача оптимального вибору установки, яка забезпечить необхідні тягово-висотні та швидкісні характеристики апарата. Визначено, що найбільше застосування у БПЛА знайшли газотурбінні двигуни, та їх різновид – турбореактивні двигуни, поршневі двигуни внутрішнього згоряння та електричні авіаційні двигуни із живленням від акумуляторів. В роботі розглянуті технічні особливості цих типів силових установок, що можуть встановлюватись на сучасні вітчизняні легкі та середні БПЛА тактичного та оперативно-тактичного призначення.

**Висновки.** Легкі БПЛА доцільно оснащувати електричними авіаційними двигунами із живленням від акумуляторів, в той час як на середніх, крім електродвигунів, ефективним є застосування також поршневих та роторних двигунів.

**Ключові слова:** класифікація БПЛА; силова установка БПЛА; критерії вибору.

**Вступ.** Воєнно-політична ситуація, яка склалася в Україні в першій половині 2014 року, як ніколи гостро поставила питання щодо термінового відновлення боєздатності і розбудови власної мобільної високопрофесійної армії та зумовила необхідність корінного переозброєння Збройних Сил України (ЗС України).

Враховуючи втрати серед екіпажів та авіаційної техніки на початку антитерористичної операції, в Україні виникла необхідність створення цілої лінійки БПЛА [1], призначення яких полягатиме у веденні розвідки, забезпеченні безпосередньої вогневої підтримки підрозділів ЗС України, коригування вогню артилерії та інше.

На підставі аналізу досвіду застосування БПЛА в АТО та інших військових операціях, під час проведення пошуково-рятувальних та гуманітарних операцій, можна зробити висновок про те, що оснащення ними тактичних підрозділів сухопутних військ, сил спеціальних операцій та спеціального призначення дозволило значно підвищити їхні бойові й інші функціональні можливості.

Слід зазначити, що закупівля сучасних БПЛА в іноземного розробника, з одного боку, потребує значних матеріальних витрат, а з іншого боку, ставить у повну залежність боєздатність від політики керівництва країни-виробника.

У конструкції БПЛА вітчизняного виробництва більшість складових частин та комплектуючих закуповуються за кордоном. Це, по суті, являє собою виклик для вітчизняних підприємств, які поступово доводять свої можливості щодо розробки і виготовлення елементів конструкції планеру БПЛА, силової установки, авіоніки, радіоелектронного обладнання.

Розглянемо основні класифікації БПЛА. У спеціальному випуску асоціації безпілотних систем UVS International (провідній міжнародній неурядовій організації, що формує концепції сертифікації, стандартизації і регулювання польотів безпілотної техніки) всі БПЛА поділяються: на тактичні безпілотні апарати з підрівнями дальності і висотності дії, на стратегічні та спеціальні БПЛА. Також існує багато національних класифікацій за призначенням, у тому числі й українська (табл. 1) [2], та класифікація БПЛА, яка прийнята у країнах-членах НАТО.

Українська класифікація БПЛА за призначенням

Клас	Рівень застосування, (злітна вага)	Радіус дії	Категорія БПЛА НАТО
I Легкі (менш 150 кг)	Тактичні – мікро (до 2 кг)	до 5 км	micro
	Тактичні – міні (від 2 до 15 кг)	від 5 до 25 км	mini
	Тактичні – малі (від 15 кг)	більш 25 км	small
II Середні (150-600 кг)	Тактичні (оперативно тактичні)	більш 50 км	tactical
III Важкі (600 кг і більше)	Оперативні	більше 200 км	male
	Стратегічні	Більше 200 км	hale

**Постановка проблеми.** На сьогодні в Україні розробляється та проводиться випробування великої кількості БПЛА різних типів як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Одним з головних вузлів БПЛА є силова установка, яка забезпечує його основні експлуатаційні характеристики: масогабаритні показники, дальність польоту, практичну стелю, корисну вантажопідйомність, галузь застосування. На БПЛА різних типів встановлюються різноманітні види силових установок: електричні, поршневі, роторні, газотурбінні двигуни (далі – ГТД). Однак вимоги до силових установок БПЛА нині досить суперечливі і тому потребують узагальнення відповідно до національної класифікації БПЛА.

**Мета роботи.** Метою статті є аналіз конструктивних особливостей, технічних характеристик і функціонального призначення силових установок, встановлених на сучасні вітчизняні БПЛА відповідно до національної класифікації.

**Викладення основного матеріалу.** Розглянемо деякі вітчизняні та закордонні БПЛА, які пройшли випробування в Україні (табл. 2).

Таблиця 2

БПЛА, які пройшли випробування в Україні

Назва БПЛА	Виробник	Рівень застосування	Встановлена силова установка
1	2	3	4
Ятаган	ТОВ «Перший контакт» (Україна)	Тактичний – мікро	однорядковий, електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів
Sky Ranger	Aeryon Labs inc (Канада)	Тактичний – міні	багатодвигунний, електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів
ArrowLite	Stark Defense Services Inc. (США)	Тактичний – міні	однорядковий, електрич- ний авіаційний двигун з живленням від акумулято- рів
ACS-3	ТОВ «Авіаційна виробнича компанія» (Україна)	Тактичний – міні	однорядковий, електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів
НАWK	«Drone-Tech SRL» (Респуб- ліка Молдова)	Тактичний – міні	однорядковий, електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів

Закінчення табл. 2

1	2	3	4
MICROVISOR SM 7	ТОВ «ПМІК АЕРОСПЕЙС» (Україна)	Тактичний – міні	однорядковий, електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів
Silent Falcon	Silent Falcon UAS Technologies (США)	Тактичний	однорядковий, електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів та сонячних батареї
ATLAS	спільний проєкт «Almenta Group» (США), «Eweris» та «SKR» (Іспанія)	Тактичний	однорядковий, двохтакт- ний поршневий двигун
PD-1 UAV	ТОВ «Укрспецсистемс» (Україна)	Тактичний	однорядковий, двохтакт- ний поршневий двигун
Schiebel S-100 Camcopter	Schiebel Aircraft GmbH (Австрія)	Оперативно-тактичний	однорядковий, авіаційний роторний двигун
АН-БК-1 «Горлиця»	ДП «Антонов» (Україна)	Оперативно-тактичний	ГТД

Оперативні та стратегічні сучасні БПЛА в Україні не випробувались. Як приклад таких апаратів можна навести відомий стратегічний БПЛА виробництва компанії Norman Grumman (США) – RQ-4 Global Hawk (рис. 1). Цей БПЛА оснащений турбогвинтовим двоконтурним двигуном (ТРД) Allison Rolls-Royce AE3007H із тягою 31,4 кН і здатний нести корисне навантаження масою до 900 кг. Для ЗС України у зв'язку з обмеженістю території, на якій проводиться АТО, більший інтерес становлять компактні і мобільні тактичні та оперативно-тактичні безпілотні апарати, які внаслідок незначних габаритів є більш захищеними від ураження стрілецькою зброєю. На рис. 2 наведені деякі приклади конструктивних рішень таких апаратів.



Рис. 1. Стратегічний БПЛА RQ-4 Global Hawk (США)

Основною особливістю безпілотної авіації є відсутність льотного екіпажу на борту літального апарату (ЛА). Ця особливість дає декілька важливих переваг, зокрема таких, як:

- відносно збільшення цільового навантаження і запасів палива за рахунок відсутності льотного екіпажу і систем його життєзабезпечення, оскільки відносна маса систем життєзабезпечення і льотного екіпажу може доходити до 15–20 %;

- збільшення експлуатаційного перевантаження. Нині максимальне експлуатаційне перевантаження становить 9–10 одиниць, що є граничним для людського організму.



а

б

Рис. 2. Легкі тактичні БПЛА Schiebel (Австрія) (а) та Stalker (США) (б)

Проте підвищення експлуатаційного перевантаження вносить свої корективи в силову установку надманевреного безпілотної ЛА. Це спричиняє виникнення великих значень навантажень в опорах ротора за рахунок як самих перевантажень, так і великих кутових швидкостей обертання ЛА на еволюціях. Виходом з цієї ситуації може бути зниження моменту інерції ротора і зміцнення його опор. Зміцнення опор у свою чергу буде екстенсивним параметром, що спричиняє за собою збільшення маси силової установки і в цілому усього ЛА.

Зниження моменту інерції ротора є інтенсивним параметром і найприйнятніше для вирішення цього завдання.

Однією з переваг БПЛА є прив'язка розмірів ЛА не до льотного екіпажу, а до маси і габаритів цільового навантаження. Це дає можливість створювати ЛА із злітною масою в 10 кілограмів, які на цей момент розвитку обчислювальної техніки здатні ефективно виконувати досить широкий спектр завдань, в яких застосування пілотованих ЛА було б дуже не вигідне або взагалі неможливе і небезпечне (наприклад, у зонах хімічного або радіаційного зараження).

Зниження розмірності ЛА веде до зменшення габаритів силової установки (рис. 2) [3].

Малорозмірні ГТД мають відносно низькі показники ефективності в порівнянні з ГТД більшої розмірності. Зниження характерних розмірів веде до зниження чисел Рейнольдса в проточній частині, що сприяє виникненню вихроутворення і потовщення пограничного шару. Мала розмірність призводить до неминучого підвищення точності виготовлення деталей двигуна. Це потрібно для підтримки досить малих радіальних проміжків між корпусом та робочими лопатками ротора.

А оскільки для підтримки робочого процесу двигуна доводиться дотримуватися кінематичної подібності трикутників швидкостей у відповідних перерізах, то при зниженні розмірів ротора підвищується його частота обертання. На рис. 3 показана залежність частоти обертання від діаметра колеса відцентрового компресора. За максимальний режим зазвичай береться периферійна окружна швидкість відцентрового компресора, що дорівнює 400 м/с, при цьому наведена швидкість на виході з колеса стає практично рівною  $\lambda=1$ , тому переходити на надзвуковий режим зазвичай не доцільно, зважаючи на швидко зростаючі хвильові витрати в дифузорі. Знаючи периферійну швидкість можна для різних діаметрів коліс компресорів розрахувати максимальну частоту обертання ротора. З графіка (рис. 3) бачимо, що зі зниженням розмірності двигуна підвищується його частота обертання. Виходячи з цього вимагається забезпечувати дуже точне балансування ротора двигуна у зборі з величиною залишкового дисбалансу не більше 50 мг·мм [4].



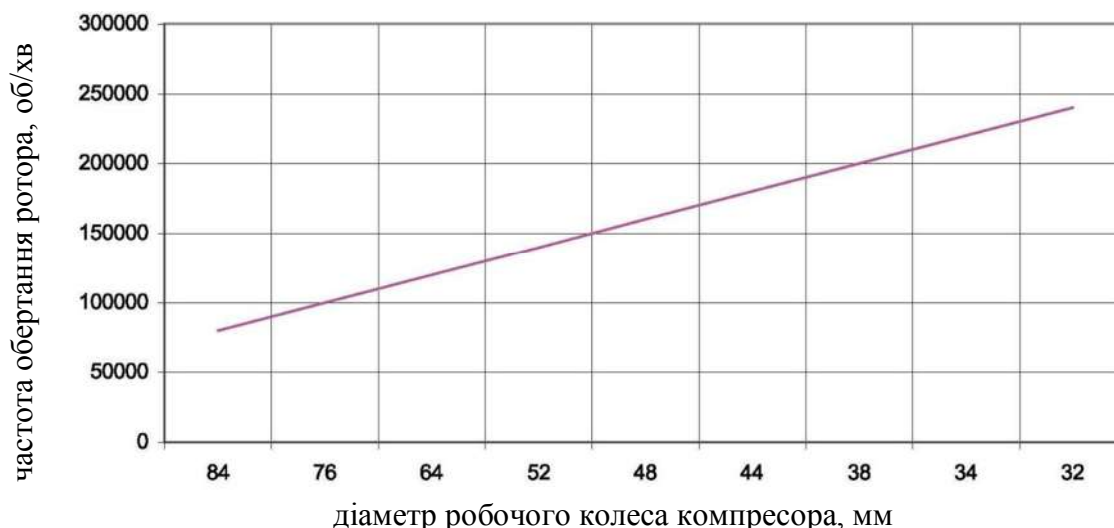


Рис. 3 Залежність частоти обертання ротора від діаметра компресора

Малі розміри камери згоряння не дозволяють використати відцентрові паливні форсунки в силу дуже малого вихідного отвору, який може бути легко засмічений навіть незначними за величиною частками, що потрапили в паливо. У двигунах такої розмірності використовуються форсунки випарного типу, що складаються зі струминної форсунки і випарного кожуха.

Застосування такого виду форсунок дозволяє спростити систему уприскування і понизити габаритні розміри камери згоряння, оскільки гас подається в жарову трубу вже у випарованому виді. У такої системи уприскування є свої мінуси, такі як трудність запалювання палива в камері згоряння. Для стійкої роботи потрібна наявність вже гарячих випарних трубок. При недостатньому нагріві камери згоряння паливо, що подається, може охолодити частину випарних трубок і, зносячись потоком, догорати на турбіні, що у свою чергу призведе до перегрівання турбіни і зупинення запуску. Низька стабільність на малих режимах виникає внаслідок низького перепаду тиску на струминних форсунках, що може призвести до краплеутворення палива і локальних зривів полум'я.

Технологічна неможливість виконувати охолодження робочих лопаток турбіни малорозмірного ГТД не дозволяє отримувати високих значень температури газу перед турбіною.

Незважаючи на принципову подібність теплових процесів у поршневому, роторному і газотурбінному двигунах, існує певна відмінність в організації їх протікання. У поршневому та роторному двигунах усі процеси протікають практично в тому ж самому об'ємі. З цієї причини вони не можуть бути безперервними, тобто поршневий та роторний двигуни – періодичної дії.

У ГТД ж усі процеси термодинамічного циклу йдуть безперервно і постійно, тобто це двигун безперервної дії. Цей факт – одна з причин того, що потужність газотурбінного двигуна за інших рівних умов відчутно вище [5]. Незважаючи на весь спектр обмежень при проектуванні малорозмірного ГТД і його малу ефективність, нині це єдиний вид силової установки здатний вивести безпілотний ЛА малої розмірності на високі польотні швидкості близько 500–600 км/год завдяки досить жорсткій залежності тяги від швидкості польоту, властивій турбореактивним двигунам (рис. 4).

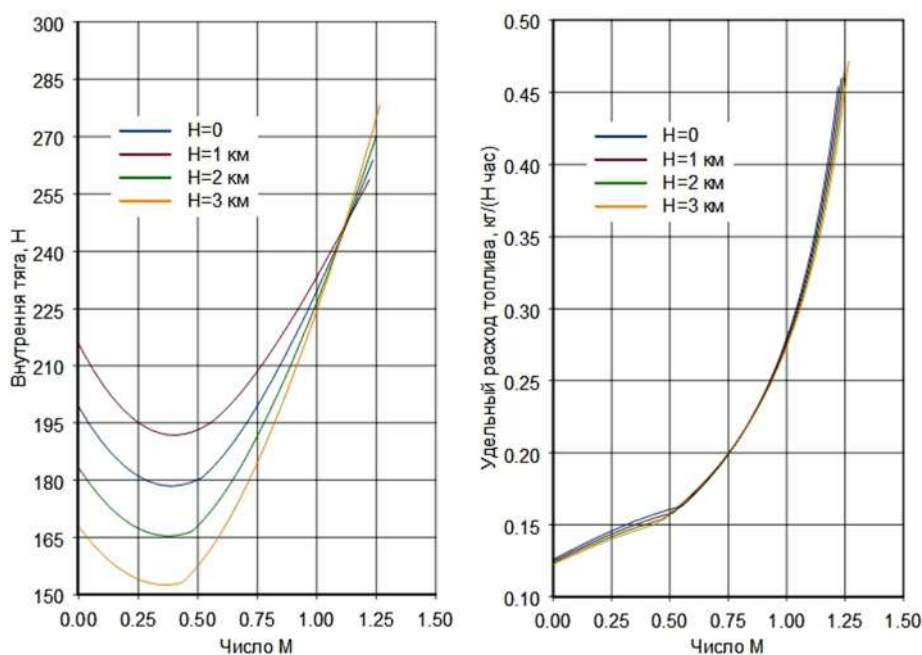


Рис. 4. Тягово-висотні характеристики малорозмірного турбореактивного двигуна

Результати наведеного аналізу випробувань БПЛА в Україні свідчать про те, що завдяки конструктивній складності ГТД майже не використовуються як силові установки на БПЛА, як світових так і вітчизняних виробників. Щодо стратегічних та оперативних БПЛА (порівнянних з розмірами пілотованих ЛА), то тут ГТД мають безперечну перевагу.

Для тихохідних БПЛА зі швидкістю польоту 40-90 км/год доцільно використовувати як силову установку гвинтокрилу групи, що складається з безколекторного електродвигуна з магнітами з рідкоземельних металів і літій-полімерних акумуляторів. Попри те, що вага цих силових установок не змінюється під час польоту, в порівнянні з паливом ГТД і поршневих двигунів, електросилова установка має багато дуже значних позитивних моментів:

- простота обслуговування, що полягає у правильній експлуатації акумуляторних батарей;
- надійний запуск без додаткових засобів і стабільна робота на перехідних режимах, у цьому електродвигуни значно надійніше за двигуни внутрішнього згорання;
- легкість в автоматизації управління і контролю основних параметрів електросилової установки, таких як: частота обертання, напруга живлення, струм, контроль запасу заряду акумулятора;
- заправка акумуляторів за рахунок сонячних батарей;
- відсутність холостого ходу, може значно заощадити запасену в акумуляторі енергію і бути вирішальним моментом у виборі силової установки для БПЛА.

Завдяки розвитку сучасних технологій (застосування сонячних батарей, постійного зменшення ваги та розмірів акумуляторів) злітна маса БПЛА, які використовують електричні авіаційні двигуни з живленням від акумуляторів, збільшується.

Зі збільшенням злітної маси БПЛА і потреби у більшому часі знаходження в повітрі застосування електросилової установки стало невигідним і найбільш відповідним можна розглядати варіант силової установки як гвинтокрилої групи з поршневим двигуном.

Поршневі двигуни мають такі позитивні якості:

- отримання великих потужностей, порівняно з електросиловою установкою, у якій це призвело б до непропорційного збільшення ваги акумуляторних батарей, і як наслідок – ускладнення високоточної управляючої апаратури, і збільшенню часу зарядки акумулятора;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- зменшення ваги взятого на борт палива;  
- нижча надійність поршневих двигунів компенсується збільшенням кількості циліндрів в двигуні.

Серед поршневих двигунів на сьогодні найбільш представлені 2- та 4-тактні. 2-тактні двигуни мають більш високу літрову потужність, але програють 4-тактним у економічності. Усі двигуни обладнані електронною системою запалення, яка автоматично виставляє кут випередження запалення від частоти обертання вала, підвищуючи ефективність горіння паливно-повітряної суміші в циліндрі двигуна. Для приготування паливоповітряної суміші двигуни обладнані карбюраторами з регульованою дросельною заслінкою і мембранним паливним насосом, деякі двигуни обладнані інжекторною системою уприскування палива [3].

Застосування гвинтів фіксованого кроку доцільне до швидкостей 120–150 км/год, використання поршневих двигунів на великих швидкостях вимагає установки гвинтів змінюваного кроку.

Результати аналізу тенденцій розвитку силових установок, встановлюваних на різні типи сучасних вітчизняних БПЛА свідчать про такі закономірності (табл. 3).

Таблиця 3

*Встановлення силових установок на різні типи БПЛА відповідно до української класифікації БПЛА*

Клас	Рівень застосування, (злітна вага)	Радіус дії	Силова установка
I Легкі (менш 150 кг)	Тактичні – мікро (до 2 кг)	до 5 км	електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів
	Тактичні – міні (від 2 до 15 кг)	від 5 до 25 км	
	Тактичні – малі (від 15 кг)	більш 25 км	
II Середні (150-600 кг)	Тактичні (оперативно тактичні)	більш 50 км	електричний авіаційний двигун з живленням від акумуляторів (сонячних батарей), поршневі двигуни 2-тактні, 4-тактні, роторні двигуни
III Важкі (600 кг і більш)	Оперативні	Більше 200 км	ГТД
	Стратегічні	Більше 200 км	ГТД

**Висновки.**

1. Підбір і проектування силової установки для БПЛА ґрунтується на інших принципах і підходах, ніж підбір силової установки пілотованого ЛА. Застосування силових установок, призначених для пілотованих ЛА, у безпілотних апаратах не дозволяє повною мірою реалізувати увесь потенціал, який був закладений у БПЛА.

2. Оперативні та стратегічні БПЛА оснащуються газотурбінними двигунами причому, як правило, ГТД з осьовим компресором встановлюються на більш великі за масогабаритними характеристиками оперативні БПЛА. На стратегічні БПЛА встановлюють ГТД з відцентровим компресором. Як показує аналіз тенденцій розвитку силових установок, мало-розмірні ГТД не використовуються на сучасних БПЛА завдяки конструктивної складності.

3. На легкі БПЛА встановлюють електричні авіаційні двигуни з живленням від акумуляторів.

4. На середні (тактичні) БПЛА встановлюють як електричні авіаційні двигуни з живленням від акумуляторів (сонячних батарей), так і поршневі 2- та 4-тактні двигуни, а також роторні двигуни.

### Список використаних джерел

1. Ключников І. М. Актуальні завдання щодо оснащення Збройних сил України безпілотними авіаційними комплексами / І. М. Ключников, А. Г. Єрилкін, О. А. Нікіфоров // Збірник тез доповідей 15-ї науково-практичної конференції «Створення та модернізація озброєння і військової техніки в сучасних умовах»; Чернігів, 8-9 вересня 2016 р. – Чернігів, 2016. – С. 126–128.
2. Корченко О. Г. Узагальнена класифікація безпілотних літальних апаратів / О. Г. Корченко, О. С. Ілляш // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2012. – № 4 (33). – С. 27–36.
3. Холщевников К. В. Теория и расчет авиационных лопаточных машин / К. В. Холщевников. – М. : Машиностроение, 1970. – 614 с.
4. Порошкин К. В. Особенности проектирования силовой установки для беспилотного летательного аппарата / К. В. Порошкин, Р. Р. Ямалиев, Н. С. Сениушкин // Молодой ученый. – 2011. – № 3. – С. 85–88.
5. Иноземцев А. А. Газотурбинные двигатели / А. А. Иноземцев, В. Л. Сандрацкий. – Пермь : Авиадвигатель, 2006. – 1204 с.

### References

1. Kliushnikov, I.M., Yerylkin, A.H., Nikiforov, O.A. (2016). Aktualni zavdannia shchodo osnashchennia Zbroinykh syl Ukraini bezpilotnyu aviatsiynymy kompleksamy [Actual tasks on the equipment of Armed forces of Ukraine by pilotless aviation complexes]. Proceeding from *Stvorennia ta modernizatsiia ozbroiennia i viiskovoi tekhniki v suchasnykh umovakh: Zbirnyk tez dopovidei 15 naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Creation and modernization of armament and military equipment in modern conditions: Collection of abstracts of the 15th Scientific Conference* (Chernihiv, 8-9 September 2016). Chernihiv, pp. 126-128 (in Ukrainian).
2. Korchenko, O.G., Illiash, O.S. (2012). Uzahalnena klasifikatsiia bezpilotnykh litalnykh aparativ [Generalized classification of unmanned aerial vehicles]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho universytetu Povitrianykh syl – Collection of scientific works of the Kharkov university of aircrafts*, no. 4 (33), pp. 27–36 (in Ukrainian).
3. Kholshchevnikov, K.V. (1970). *Teoriia i raschet aviatsionnykh lopatochnykh mashin [Theory and Design of Aircraft turbomachinery]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russia).
4. Poroshkin, K.V., Yamaliev, R.R., Seniushkin, N.S. (2011). Osobennosti proyektirovaniya silovoy ustanovki dlya bespilotnogo letatel'nogo apparata [Features of designing propulsion system for unmanned aircraft]. *Molodoy uchenyi – Young scientist*, no. 3, pp. 85–88 (in Russia).
5. Inozemtsev, A.A., Sandratskiy, V.L. (2006). *Gazoturbinnye dvigateli [Gas turbine engines]*. Perm: Aviadvigatel (in Russia).

*Oleg Shapovalov, Denis Kolesnik, Gennady Bolotov, Oleksyi Zhurakhov*

### ANALYSIS OF CONSTRUCTIVE FEATURES AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE MAIN TYPES OF UNMANNED AERIAL VEHICLE

**Introduction.** Application of UAV allows increasing significantly the opportunities for military operations, various humanitarian actions. The current military-political situation in Ukraine in recent years, causes the necessitates for an immediate increase of effectiveness of the armed forces, in particular due to the intensive development of modern UAVs of various functional purposes.

**Raising the problem.** One of the main nodes of UAVS is a powerplant that delivers its main specifications: weight and dimensions, the range, the practical ceiling payload. However, the requirements for UAV power plants at this time are quite contradictory and therefore need to be generalized in accordance with the national UAV classification.

**The research objective.** The purpose of the work is to analyze the design features, technical characteristics and functional purpose of power plants installed on modern domestic UAVs according to the national classification.

**Exposition of basic material.** A significant advantage of the UAV is the connection of its dimensions only to the payload, not to the flight crew. This makes it possible to create a wide range of UAVs weighing from one to hundreds of kilograms. In these conditions, the important task is the optimal choice of the power plant, which will provide the necessary traction-altitude and high-speed characteristics of the apparatus. It is determined that gas turbine engines and their variety such as turbojet engines, reciprocating internal combustion engines and electric aircraft engines powered by batteries have found the greatest application in UAV. The technical features of these types of power plants that can be installed on modern domestic light and medium-range tactical and operationally tactical UAVs are considered..

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*Conclusions.* It is expedient to equip a light UAV with electric aircraft engines powered by batteries, while on medium ones, except for electric motors, it is also effective to use piston and rotary engines.

*Keywords:* power plant UAV; classification of UAVs.

*Олег Шаповалов, Денис Колесник, Геннадий Болотов, Алексей Журахов*

## АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНЫХ ТИПОВ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Приведена класифікація БПЛА. Розглянуті тенденції розвитку силових установок БПЛА. Представлені рекомендації по вибору силових установок для різних типів БПЛА в відповідності з класифікацією беспілотних апаратів.*

*Ключевые слова:* класифікація БПЛА; силова установка БПЛА; критерии выбора.

**Шаповалов Олег Леонідович** – начальник відділу, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрілецька, 1, 14003, Чернігів, Україна).

**Шаповалов Олег Леонидович** – начальник отдела, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, Чернигов, Украина).

**Shapovalov Oleg** – Chief of department, State scientifically-proof-of-concept center of Armed forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** ak1149cv@ukr.net

**Колесник Денис Миколайович** – начальник відділення, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрілецька, 1, 14003, Чернігів, Україна).

**Колесник Денис Николаевич** – начальник отделения, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, Чернигов, Украина).

**Kolesnik Denis** – Chief of separation, State scientifically-proof-of-concept center of Armed forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** denis1971@ukr.net

**Болотов Геннадій Павлович** – доктор технічних наук, професор кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (95, вул. Шевченка, 14027, м. Чернігів, Україна).

**Болотов Геннадий Павлович** – доктор технических наук, профессор кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (95, ул. Шевченко, 14027, г. Чернигов, Украина).

**Bolotov Gennadiy** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** bolotov49@mail.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0305-2917>

**Журахов Олексій Васильович** – старший науковий співробітник, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрілецька, 1, 14003, Чернігів, Україна).

**Журахов Алексей Васильевич** – старший научный сотрудник, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, 14003, Чернигов, Украина).

**Zhurakhov Oleksyi** – Senior staff scientist, State scientifically-proof-of-concept center of Armed forces of Ukraine (1 Shooter str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** laos00000@gmail.com

## РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 339.13.017:671.16

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-66-74

Володимир Індутний, Ніна Мережко, Катерина Пірковіч

### АНАЛІЗ РИНКУ РУБІНІВ ЗА ЯКІСНИМИ ТА ВАРТІСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

**Актуальність теми дослідження.** Рубіни, як окремий товар та складова ювелірних виробів, залишаються на ринках і знаходять свого покупця майже в усіх країнах світу незалежно від стану їх економічного розвитку.

**Постановка проблеми.** Природні рубіни є одними з найбільш дорогих коштовних каменів, які використовуються для створення дуже цінних ювелірних прикрас, тому важливо мати обґрунтовану методику для визначення прогнорованої вартості рубінів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У деяких наукових роботах викладено теоретичні засади і практичні рекомендації для прогнозування вартості культурних цінностей та представлено методику аналізу ринку культурних цінностей за якісними та вартісними параметрами.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Оцінювання рубінів має свою специфіку, тому існує нагальна потреба в методичних підходах до визначення прогнорованої вартості природних рубінів.

**Постановка завдання.** Мета цієї роботи полягає в дослідженні поточних цінних показників на природні рубіни, що представлені на ринку України, а також проектуванні спеціальної шкали для їх якісної оцінки й таблиці рекомендованих вартісних показників для використання в експертній діяльності.

**Викладення основного матеріалу.** У статті описано процес проектування шкали для оцінки якості природних рубінів. В основу шкали покладені уявлення про кількість позитивної інформації про товар, пропорційним до якої є показник прогнорованої вартості. Консолідована шкала якості рубінів фрагментована на три товарознавчі групи – рубіни низької якості та облагороджені, рубіни високої якості не облагороджені та рубіни не облагороджені найвищої якості (рідкісні та унікальні).

**Висновки відповідно до статті.** На основі результатів дослідження запропоновано таблицю рекомендованих показників вартості на природні рубіни різної якості для практичного використання суб'єктами оціночної діяльності.

**Ключові слова:** рубіни; аналіз ринку; якість; прогнорована вартість; критерії оцінки.

**Постановка проблеми.** Рубін – це торгова назва природного мінералу – малиново-червоного корунду, який має хімічний склад  $Al_2O_3$  [9–12] та забарвлений завдяки незначним домішкам Cr та Fe. Чисельні легенди, деяким з яких понад 2000 років [8; 13–16] описують надприродне походження рубінів та їх магічну здатність впливати на життя людей, народів та навіть держав. З рубінів виготовляють дуже дорогі прикраси, які є символами влади, успіху, заможності та причетності до надприродних і потаємних сил. У культурах багатьох народів рубіни упредметнюють ідеали й сенс життя, а також стверджують значущість особистості у суспільстві на найвищому рівні. Особливо цінні й рідкісні природні камені, що мають велику вагу, насичений колір та високий показник чистоти. Наприклад, окремі камені з Бірми, видобуток яких почався ще в добу бронзи, супроводжуються спеціальними сертифікатами походження та продаються на всесвітньо відомих аукціонах. Так, 13 травня 2015 року на аукціоні Sotheby's було продано рожево-червоний бірманський рубін вагою 25,59 карата за 30 мільйонів доларів США. Зазначимо, що це був не єдиний випадок продажу унікальних рубінів за вартістю, що наближається до 1 мільйона доларів США за один карат.

Глибоке історичне коріння культурних традицій використання рубінів зберіглося до наших часів і пояснює їх привабливість, як засобу задоволення гуманітарних потреб особистості у здійсненні соціогенеруючих обрядів «причастя-відлучення» та «обдаровування-віддаровування» [5]. Слід також констатувати, що рубіни, як окремий товар та складова найбільш цінних ювелірних виробів, залишаються на ринках і знаходять свого покупця майже в усіх країнах світу незалежно від стану їхнього економічного розвитку [2; 3].

Природні рубіни, що нині представлені на глобальному ринку й, зокрема, на ринку України, видобувають в багатьох країнах світу, однак провідне місце серед них посідають Бірма, Танзанія, Мадагаскар, Індія, Шрі-Ланка, В'єтнам і Мозамбик [7]. Добування рубінів

здійснюється також у інших країнах, але в набагато менших обсягах і часто разом з іншими корисними копалинами. Лідерами у сфері огранювання рубінів за обсягами є Індія й Китай.

Природні рубіни високої якості зустрічаються у природі досить рідко і становлять лише 1–3 % від загального обсягу видобутих каменів [7], тому слід звернути увагу на те, що велику кількість природних рубінів піддають штучному облагородженню для покращення їх прозорості, створення більш насиченого забарвлення, а також «залікування» природних дефектів у вигляді тріщин й газопо-рідинних включень. Їх піддають термічній обробці, опроміненню та насиченню спеціальним склом або органічними полімерами, які мають відповідні характеристики світлозаломлення й колір. Такі рубіни називають облагородженими.

Спочатку ХХ століття на світовому ринку широко представлені також штучні рубіни [1]. Вони мають найвищі показники якості за насиченістю кольору, прозорістю та є бездефектними. Однак ці камені не мають культурних традицій використання й оцінюються відносно дешево.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [5] викладено теоретичні засади і практичні рекомендації для прогнозування вартості культурних цінностей, наведено приклади оцінки культурних цінностей різних типів і видів. У статті [6] представлено загальну методику аналізу ринку культурних цінностей за якісними та вартісними параметрами.







**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Природні рубіни є одними з найбільш дорогих коштовних каменів, які використовуються для створення дуже цінних ювелірних прикрас. Оцінювання рубінів має свою специфіку, тому існує нагальна потреба в методичних підходах до визначення прогнозованої вартості природних рубінів, які у подальшому можуть бути використані суб'єктами оціночної діяльності.

**Мета статті. Мета цієї роботи** полягає в дослідженні поточних цінних показників на природні рубіни, що представлені на ринку України, а також проектуванні спеціальної шкали для їх якісної оцінки й, відповідно, таблиці рекомендованих вартісних показників, які у подальшому можуть бути використані в експертній та оціночній діяльності.

**Виклад основного матеріалу.** Вихідні дані про якість та вартість природних рубінів у пропозиції на ринку України стали основою для проведення подальших дослідницьких робіт. Вихідні дані були запозичені з інтернет-сайтів провідних дилерів. Для впорядкування цієї інформації було розроблено табл. 1, фрагмент якої представлений нижче. У табл. 1 камені відсортовані в порядку від найменшого до найбільшого показника питомої вартості (в доларах США за один карат).

Вивчення вихідної інформації та рекомендацій підручників з гемології [12–14] дозволяє переконатися у тому, що оцінка якості рубінів здійснюється на основі врахування таких їх властивостей: розмір, колір, світність, чистота, якість огранування та наявність оптичного ефекту астеризму. Сукупність поименованих характеристик є повністю релятивною до вартості каменів у пропозиції, що також описано в усіх підручниках з гемології.

Інформація про вартісні показники на рубіни різної якості

№ з/п	Джерело інформації про рубіни та окремі види супровідної інформації, зазначеної продавцем	Вага в каратах	Вартість у доларах США	Питома вартість в \$/ct	Фото каменю
1	Природний рубін. Облагороджений. <a href="http://prom.ua/p458404853-naturalnyj-rubin.html?utm">http://prom.ua/p458404853-naturalnyj-rubin.html?utm</a>	41,91	11,02	0,26	
2	Природний рубін з Мадагаскару. <a href="http://prom.ua/p458404853-naturalnyj-rubin.html?utm">http://prom.ua/p458404853-naturalnyj-rubin.html?utm</a>	9,54	9,2	0,96	
3	Природний рубін з Мадагаскару <a href="http://prom.ua/p458404853-naturalnyj-rubin.html?utm">http://prom.ua/p458404853-naturalnyj-rubin.html?utm</a>	7,76	8,1	1,04	
4	Природний рубін. Розмір – 37,1 × 29,0 × 15,6 мм. Форма – овал кабошон. Колір – фіолетовий. Чистота - непрозорий. Родина – Індія. Не грітий. Сертифікація: Latvijas Proves Birojs. <a href="https://gemlovers.ru/rubin/skolko-stoit-rubin">https://gemlovers.ru/rubin/skolko-stoit-rubin</a>	205,5	240,0	1,17	
66	Природний рубін. Розмір: 9,5×5,4 мм <a href="http://www.redkiekamni.ru/kamni/aleksandrit-izumrud-rubin-sapfir/rubin/n/#top">http://www.redkiekamni.ru/kamni/aleksandrit-izumrud-rubin-sapfir/rubin/n/#top</a>	2,02	3845,0	1903,47	
67	Природний рубін. Розмір: 9,76×9,5×6,0 мм <a href="http://www.redkiekamni.ru/kamni/aleksandrit-izumrud-rubin-sapfir/rubin/n/#top">http://www.redkiekamni.ru/kamni/aleksandrit-izumrud-rubin-sapfir/rubin/n/#top</a>	5,55	24 031,5	4330,0	

Отже, для врівноваженого та повного врахування якості рубінів у всіх їх якісних показниках, застосовують сукупну характеристику – індекс якості, – величина якого дорівнює показнику кількості позитивної інформації про їхню якість. Усі основні ознаки якості рубінів обліковують за допомогою спеціального протоколу, описаного в табл. 2.

У протоколі описана спеціально спроектована фрагментована напівкількісна шкала якості. Основний принцип, закладений у описану протоколом систему оцінювання якості та прогнозування вартості, формулюється таким чином: «чим більше позитивної інформації про якість, тим вищим є показник сукупної якості рубінів (індекс якості) й, відповідно, їх питома вартість». Цей спосіб побудування шкали оцінки якості вже був описаним раніше [6].

З табл. 2 видно, що найкращий за якістю рубін з вагою менше одного карата буде характеризуватися сукупним показником якості 1024 одиниці, а рубін критично низької якості – 0,125 одиниць. Це означає, що відмінність у їх питомій вартості сягатиме показника у 8192 рази.



Таблиця 2

*Протокол для оцінки якості рубінів*

№ з/п	Назва критерію оцінювання якості рубінів	Опис шкали ранжування якості рубінів та показник кількості позитивної інформації про них у бітах – індекс якості	Результат оцінювання за критерієм
1.	Розміри каменя	Маленькі камені – менші 1 карата	1
		Від 1 до 2 каратів	2
		Від 2 до 5 каратів	4
		Більші ніж 5 каратів	8
2.	Насиченість кольору	Ненасичене забарвлення до 5 % *	0,25
		Слабко насичене забарвлення – 5–10% *	0,5
		Забарвлення середнього рівня насичення – 10–30 %*	1
		Високий рівень насичення забарвлення – більше 30 %*	2
3.	Чистота каменів	Дефектні камені та облагороджені камені, які мають значну кількість сторонніх включень, а також напівпрозорі камені	0,25
		Дефектні камені, що мають невелику кількість сторонніх включень або напівпрозорих ділянок – «вуалей»	0,5
		Прозорі камені, що мають поодинокі сторонні включення	1
		Камені, які не мають включень, які помітні оком	2
4.	Якість огранювання каменя	Примітивне огранювання у вигляді кабошону або невеликої кількості граней, а також камені, де недотримані вимоги щодо якості граней	1
		Традиційне та якісне огранювання з невеликою кількістю граней	2
		Якісне огранювання з великою кількістю граней	4
		Художнє огранювання, яке має велику кількість граней та характеризується високою точністю	8
5.	Наявність оптичного ефекту астеризму	Ефекти астеризму не спостерігаються	1
		Ефекти астеризму проявлені слабко	2
		Ефекти астеризму проявлені яскраво	4
Сукупний індекс якості, який розраховується як добуток усіх показників якості, описаних у стовпчику 5			

\* характеристики, які визначають за допомогою еталонів кольору дорогоцінних каменів PANTONEColorSet.

Для досягнення поставленої у статті мети слід також вивчити особливості розподілу питомих вартісних показників рубінів на ринку України. Для цього скористаємось даними табл. 1 та побудуємо графік розподілу питомих показників вартості на рубіни (рис. 1).

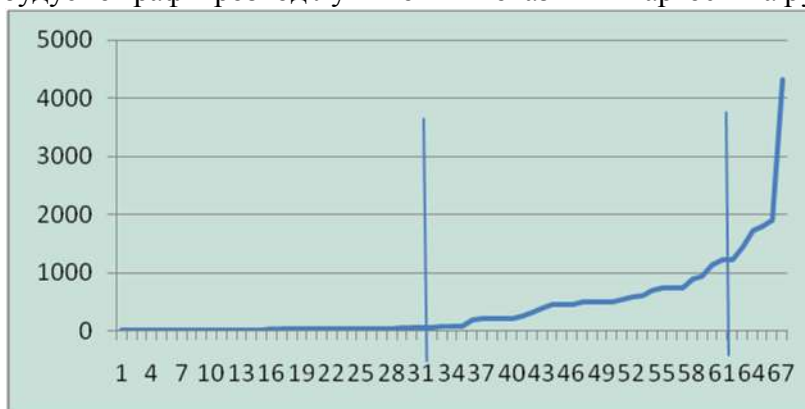


Рис. 1. Розподіл питомих показників вартості рубінів у порядку зростання їхньої якості. Вісь абсцис – порядок вартості, визначений в таблиці. Вісь ординат – показники питомої вартості рубінів у доларах США за один карат

Як видно з рис. 1, розподіл показників питомої вартості описується ступеневою функцією, а увесь визначений графіком інтервал значень може бути поділений вертикальними лініями на три субінтервали за параметрами функцій, що описують співвідношення «порядок вартості – питома вартість». Кожен із субінтервалів описує групу рубінів з певними споживчими характеристиками і, таким чином, може бути розглянутим як окрема група товару.

**Перша група** – це рубіни, які характеризуються сукупним індексом якості не більше 2 одиниць й оцінюються в інтервалі питомих показників від 0,2 до 69,2 доларів США за карат. Рубіни першої групи оцінюються згідно з протоколом оцінки, що поданий у табл. 2, й переважно за допомогою понижуючих коефіцієнтів, тобто на основі критеріїв, які мають контраверсійний характер. Базою оцінки при прогнозуванні вартості таких рубінів слід приймати показник питомої вартості, який становить 34,6 долара США за карат.

Прогнозовану вартість «С» для рубінів першої групи обчислюють за емпіричною формулою:  $C = 34,6 \times K \times V$ ; де  $K$  – сукупний індекс якості;  $V$  – вага каменя у каратах (1 карат = 0,2 грама) або за допомогою таблиці рекомендованих вартісних показників рубінів першої групи (табл. 3).

Маленькі або великі рубіни першої групи – це рубіни гранично низької якості, які часто піддають штучному облагородженню. Сертифікати на такі камені не видаються. Їх кількість на ринку найбільша, адже вони придатні для виготовлення недорогих ювелірних виробів, користуються сталим попитом й можуть використовуватися як колекційні камені або талісмани.

Таблиця 3

*Рекомендовані показники питомої вартості рубінів першої групи у доларах США за карат*

Вага рубіна в каратах	Сукупний показник індексу якості рубінів				
	0,125	0,25	0,5	1	2
До 1 карата	0,2	0,5	1,1	2,2	4,3
1 – 2 карата	0,5	1,1	2,2	4,3	8,6
2 – 5 карата	1,1	2,2	4,3	8,6	17,3
Більше 5 карат	2,2	4,3	8,6	17,3	34,6

**Друга група** рубінів – це камені високої якості (маленькі, середні та великі), які характеризуються сукупним індексом якості від 4 до 64 одиниць. Спостережені показники питомої вартості при мінімальному базовому показнику, який визначається рівнем 69,2 доларів США за карат, можуть сягати позначки 4480 доларів США за один карат. Ці камені менш широко представлені на ринку й лише окремі з них супроводжуються сертифікатами походження, наявність яких є гарантією високої якості та доказом незастосування методів штучного облагородження.

Математична обробка даних про питому вартість рубінів другої групи дозволяє здійснити регресійний аналіз та аналітично описати співвідношення між показниками сукупної якості (індексом якості), який описується згідно з протоколом, поданим у табл. 2, та вартістю. На рис. 2 подано графік розподілу показників вартості рубінів другої групи та розподілу вартісних показників, обчислених теоретично згідно з регресійним рівнянням, отриманим за допомогою розрахунків за методом найменших квадратних відхилень К. Ф. Гауса [4]. Якість апроксимації спостереженої тенденції розподілу питомих вартісних показників на рубіни теоретично обрахованою функцією описується коефіцієнтом К. Пірсона та становить – 0,98 одиниць.

Теоретично обрахована тенденція є, зазвичай, більш прийнятною для укладення звітів про рекомендовані (прогнозовані) показники питомої вартості, адже дозволяє врівноважити аномальні значення цих величин, а також побудувати несуперечні висновки щодо якості рубінів на основі протоколу оцінки, описаному в табл. 2. Вертикальними лініями на рис. 2 позначені рівні вартості, які відповідають індексам якості 4, 8, 16, 32 та 64.



Рис. 2. Співвідношення між спостереженими та теоретично обрахованими питомими показниками вартості рубінів другої групи якості. Вісь ординат – питома вартість рубінів у доларах США за один карат. Вісь абсцис – порядок вартості

Отже, прогнозна (рекомендована) вартість *S* рубінів другої групи може бути обчисленою таким чином:  $S = 69,2 \times K \times V$ ; де *K* – сукупний індекс якості; *V* – вага каменя у каратах. Прогнозування вартості рубінів другої групи, які представлені на ринку України, можна здійснювати також за допомогою табл. 4.

Таблиця 4

Рекомендовані показники питомої вартості рубінів другої групи у доларах США за карат

Вага рубіна в каратах	Сукупний показник індексу якості рубінів				
	4	8	16	32	64
До 1 карата	69,2	138,4	276,8	553,6	1107,2
1 – 2 карата	138,4	276,8	553,6	1107,2	2214,4
2 – 5 карата	276,8	553,6	1107,2	2214,4	4428,8
Більше 5 карат	553,6	1107,2	2214,4	4428,8	8857,6

**Третя група** є найбільш нечисельною групою рубінів виключно високої якості, які обов’язково супроводжуються сертифікатами походження, виданими авторитетними установами або власниками об’єктів надкористування. Звичайно, такі рубіни не повинні мати ознак штучного облагородження. Сукупний індекс їхньої якості, згідно з поданим вище протоколом оцінки, визначається у межах 128–1024 одиниць. База оцінки для третьої групи залишається визначеною на рівні 69,2 долари США за карат, адже теоретично визначена тенденція другої групи якості добре описує спостережувані на ринку показники вартості рубінів третьої групи й, таким чином, може бути екстрапольованою на відповідний інтервал показників вартості.

Питома теоретично прогнозована вартість таких рубінів лежить у межах від 8857,6 до 566 886,4 доларів США за карат. Водночас варто зазначити, що описані в історії природні рубіни найвищої якості виключно рідко характеризуються за індексом якості більше 256 одиниць.

Отже, як приклад, камінь високої якості, який описується найнижчим для цієї групи індексом якості згідно з протоколом, поданим у табл. 2, – 128 одиниць і вагою у 25 карат матиме прогнозу вартість 221 440 доларів США, а такий самий за вагою рубін, що характеризується найвищим індексом якості – 1024 одиниці, матиме прогнозовану вартість – 14 172 160 доларів США. Звичайно, при продажу з аукціону та за наявності кількох потенційних покупців вартість такого каменю може ще більше зрости й

сягати позначок у двічі більших, ніж прогнозовані показники, як це вже зазначалося на початку цієї роботи.

Нині на ринку України великі камені найвищої якості ще не були проданими, однак, вони періодично пропонуються до продажу на авторитетних зарубіжних аукціонах.

Прогнозний показник вартості  $S$  для рубінів третьої групи може бути обчисленим за емпіричною формулою:  $S = 69,2 \times K \times V$ ; де  $K$  – сукупний індекс якості;  $V$  – вага каменя у каратах. Прогнозування можна також здійснити за допомогою табл. 5.

Таблиця 5

*Рекомендовані показники питомої вартості рубінів третьої групи у доларах США за карат*

Вага рубіна в каратах	Сукупний показник індексу якості рубінів			
	128	256	512	1024
До 1 карата	8857,6	17 715,2	35 430,4	70 860,8
1 – 2 карата	17 715,2	35 430,4	70 860,8	141 721,6
2 – 5 карата	35 430,4	70 860,8	141 721,6	283 443,2
Більше 5 карат	70 860,8	141 721,6	283 443,2	566 886,4

**Висновки і пропозиції**, отримані в результаті вивчення особливостей розподілу ринкових показників вартості рубінів, представлених на глобальному ринку, можна сформулювати таким чином:

- питомі вартісні показники на природні рубіни розподіляються нелінійно й вимагають фрагментації відповідної шкали щонайменше на три інтервали, які описують три групи рубінів за якісними характеристиками;

- найбільша кількість рубінів, що представлені до продажу, є також найменш якісними, а найбільш якісні рубіни, що представлені до продажу, є дуже не чисельними;

- встановлено, що питома вартість рубінів є пропорційною до сукупного індексу їхньої якості. Це дозволяє здійснювати якісне прогнозування вартості й рекомендувати описаний спосіб прогнозування для практичного використання суб'єктам оціночної діяльності.

#### Список використаних джерел

1. *Балицкий В. С.* Синтетические аналоги и имитация природных драгоценных камней / В. С. Балицкий, Е. Е. Лисицына. – М. : Недра, 1981. – 158 с.
2. *Дронова Н. Д.* Оценка рыночной стоимости драгоценных камней и ювелирных изделий / Н. Д. Дронова. – М. : Дело, 2001. – 295 с.
3. *Дронова Н. Д.* Оценка рыночной стоимости ювелирных изделий / Н. Д. Дронова, Р. Х. Аккалаева. – М. : МАОК, 2004. – 158 с.
4. *Елисеева И. И.* Группировка, корреляция, распознавание образов / И. И. Елисеева, В. О. Рукавишников. – М. : Статистика, 1977. – 144 с.
5. *Индутный В. В.* Оцінка пам'яток культури / В. В. Индутный. – К. : СПД Моляр С.В., 2009. – 537 с.
6. *Индутный В. В.* Формула Ральфа Хартлі й прогнозування вартості пам'яток культури / В. В. Индутный // Культура і сучасність: альманах. – 2014. – № 2. – С. 70–78.
7. *Киевченко Е. Я.* Геология месторождений драгоценных камней / Е. Я. Киевченко, Н. Н. Сенкевич, А. П. Гаврилов. – М. : Недра, 1974. – 279 с.
8. *Кунц Дж.* Камни-талисманы. Уникальные сведения о драгоценных камнях / Дж. Кунц. – М. : REFL-book; К.: Ваклер, 1997. – 287 с.
9. *Минералогическая энциклопедия* / [под ред. К. Фрея]. – Л. : Недра, 1986. – 512 с.
10. *Рид П. Дж.* Геммологический словарь / П. Дж. Рид. – Л. : Недра, 1986. – 387 с.
11. *Рубин и сапфир* / [под ред. Л.М. Беляева]. – М. : Наука, 1974. – 236 с.
12. *Смит Г.* Драгоценные камни / Г. Смит. – М.: Мир, 1980. – 387 с.
13. *Уолтерс Дж. Р.* Все о драгоценных камнях / Дж.Р. Уолтерс. – М. : ЗАО БММ, 1999. – 160 с.
14. *Шуман В.* Мир камня : в 2 т. / В. Шуман. – М. : Мир, 1986. – Т. 2: Драгоценные и поделочные камни. – 263 с.
15. *Юнг К. Г.* О природе Психе / К. Г. Юнг. – М. : Рефл-бук, Ваклер, 2002. – 414 с.

16. *Як оцінювати* коштовності з дорогоцінних каменів та металів / [Індутний В. В., Татаринцев В. І., Павлишин В. І. та ін.]. – К. : АЛМА, 2001. – 268 с.

### References

1. Balitskii, V.S. & Lisitsyna, E.E. (1981). *Sinteticheskie analogi i imitatsiia prirodnykh dragotsennykh kamnei* [Synthetic analogues and imitations of natural precious stones]. Moscow: Nedra (in Russian).
2. Dronova, N.D. (2001). *Otsenka rynochnoi stoimosti dragotsennykh kamnei i iuvelirnykh izdelii* [Estimation of the market value of precious stones and jewelry]. Moscow: Delo (in Russian).
3. Dronova, N.D. & Akkalaeva, R.KH. (2004). *Otsenka rynochnoi stoimosti iuvelirnykh izdelii* [Estimation of the market value of jewelry]. Moscow: MAOK (in Russian).
4. Eliseeva, I.I. & Rukavishnikov, V.O. (1977). *Gruppirovka, korreliatsiia, raspoznavanie obrazov* [Grouping, correlation, pattern recognition]. Moscow: Statistika (in Russian).
5. Indutnyj, V.V. (2009). *Otsinka pamiatok kultury* [Evaluation of cultural monuments]. Kyiv: SPD Moliar S.V. (in Ukrainian).
6. Indutnyj, V.V. (2014). Formula Ralfa Khartli y prohnozuvannia vartosti pam'iatok kultury [Formula Ralph Hartley and forecasting value of cultural monuments]. *Kultura i suchasnist: almanakh – Culture and Modernity: Almanac*, no. 2, pp. 70–78 (in Ukrainian).
7. Kievlenko, E.IA., Senkevich, N.N., Gavrilov, A.P. (1974). *Geologiiia mestorozhdenii dragotsennykh kamnei* [Geology of precious stones deposits]. Moscow: Nedra (in Russian).
8. Kunts, Dzh. (1997). *Kamni-talismany. Unikalnye svedeniia o dragotsennykh kamniakh* [Stones-mascots. Unique information about precious stones]. Moscow: REFL-book; Kiev: Vakler (in Russian).
9. Frei, K. (ed.) (1986). *Mineralogicheskaiia entsiklopediia* [Mineralogical encyclopedia]. Leningrad: Nedra (in Russian).
10. Rid, P.Dzh. (1986). *Gemmologicheskii slovar* [Gemological dictionary]. Leningrad: Nedra (in Russian).
11. Beliaev, L.M. (ed.) (1974). *Rubin i sapfir* [Ruby and sapphire]. Moscow: Nauka (in Russian).
12. Smit, G. (1980). *Dragotsennye kamni* [Precious stones]. Moscow: Mir (in Russian).
13. Uolters, Dzh.R. (1999). *Vse o dragotsennykh kamniakh* [All about precious stones]. Moscow: ZAO BMM (in Russian).
14. Shuman, V. (1986). *Mir kamnia* [Gemstones of the World] (Vols. 1-2). Vol. 2. *Dragotsennye i podelochnye kamni – Precious and semi-precious stones*. Moscow: Mir (in Russian).
15. Iung, K.G. (2002). *O prirode Psikhe* [On the Nature of the Psyche]. Moscow: Refl-buk, Vankler (in Russian).
16. Indutnyj, V.V., Tatoryntsev, V.I., Pavlyshyn, V.I. (2001). *Yak otsiniuvaty koshtovnosti z dorohotsinnykh kameniv ta metaliv* [How to evaluate jewelry with precious stones and metals]. Kyiv: ALMA (in Ukrainian).

*Volodymyr Indutny, Nina Merezko, Kateryna Pirkovich*

## MARKET ANALYSIS OF RUBIES ON THE QUALITATIVE AND COST INDICATORS

**Urgency of the research.** *Being a separate goods and components of jewelry rubies remain in the markets and find a buyer in almost all countries irrespective of their economic development.*

**Target setting.** *Natural rubies are ones of the most expensive gemstones and they are used to create very valuable jewelry, so it is important to have a reasonable method for determining the predictive value of rubies.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Some scientific works present the theoretical bases and practical recommendations for predicting the value of cultural items and the method of market analysis of cultural items on the qualitative and cost indicators.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Evaluation of rubies has its own specifics, so there is an urgent need for methodological approaches to determining the predictive value of natural rubies.*

**The research objective.** *The aim of this work is to study the current prices of natural rubies in Ukraine and to design the special scale for assessment of their quality and the table of recommended indicators of value for use in expert activity.*

**The statement of basic materials.** *The article describes the process of designing the quality scale for assessment of natural rubies. In the basis of the scale laid the idea that the number of positive information on this product is proportional to the level of its predictive value. Consolidated scale quality of rubies fragmented into three commodity groups – rubies low quality and ennobled, high quality rubies and not ennobled, not ennobled the highest quality (rare and unique).*

**Conclusions.** In accordance with the research results, a table of recommended indicators of value on natural rubies of different quality has been proposed for practical use in appraisal activity.

**Key words:** rubies, market analysis, quality, the predictive value, evaluation criteria.

*Владимир Индутный, Нина Мережко, Екатерина Пиркович*

## АНАЛИЗ РЫНКА РУБИНОВ ПО КАЧЕСТВЕННЫМ И СТОИМОСТНЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Описан процесс проектирования шкалы для оценки качества природных рубинов. В основу шкалы положены представления о количестве позитивной информации о товаре, пропорциональным к которой является показатель прогнозируемой стоимости. Консолидируемая шкала качества рубинов фрагментирована на три товароведные группы – рубины низкого качества и облагороженные, рубины высокого качества не облагороженные и рубины, не облагороженные наивысшего качества (редкие и уникальные). На основе результатов исследования предложена таблица рекомендованных показателей стоимости на природные рубины разного качества для практического использования субъектами оценочной деятельности.

**Ключевые слова:** рубины; анализ рынка; качество; прогнозируемая стоимость; критерии оценки.

**Индутный Владимир Васильевич** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Индутный Владимир Васильевич** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Indutny Volodymyr** – Doctor of Sciences (Geological and Mineralogical), associate professor, professor of Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** indutny@nwv.com.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6676-7472>

**ResearcherID:** N-3279-2016

**Мережко Ніна Василівна** – доктор технічних наук, професор, професор і завідувач кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Мережко Ніна Васильевна** – доктор технических наук, профессор, профессор и заведующий кафедрой товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Merezhko Nina** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor and Head of Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** neprod2@knteu.kiev.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3077-9636>

**ResearcherID:** N-3270-2016

**Пірко́віч Катерина Анатоліївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Пиркович Екатерина Анатольевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Pirkovich Kateryna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Commodity Science and Customs Affairs, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1461-0235>

**ResearcherID:** N-3504-2016

Володимир Мазанко, Олег Новомлинець, Сергій Олексієнко, Світлана Ющенко

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ МАСОПЕРЕНЕСЕННЯ У ПРОЦЕСІ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЕЛЕКТРОКОНТАКТНОГО ЗВАРЮВАННЯ АЛЮМІНІЮ

*Актуальність теми дослідження.* Широке застосуванням алюмінію та його сплавів у промисловості викликає необхідність вдосконалення існуючих способів одержання їх нероз'єднаних з'єднань у твердій фазі.

*Постановка проблеми.* При вивченні процесу утворення з'єднання під час зварювання у твердій фазі актуальною задачею є дослідження дифузійних процесів та встановлення закономірностей масоперенесення, що має практичне значення при розробці нових технологій зварювання.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Одним із перспективних способів з'єднання алюмінію є прецизійне електроконтактне зварювання через проміжні прошарки зі зварювального матеріалу, використання яких сприяє активзації поверхонь деталей, що зварюються, та локалізації теплової енергії в стику.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Недослідженими залишаються процеси масоперенесення та механізми визначення оптимальної кількості проміжних прошарків при прецизійному електроконтактному зварюванні алюмінію та його сплавів.

*Постановка завдання.* Метою роботи є аналіз впливу кількості проміжних прошарків на процеси масоперенесення при прецизійному електроконтактному зварюванні алюмінію та його сплавів.

*Викладення основного матеріалу.* Відпрацювання методики дослідження здійснено на прикладі електроконтактного зварювання сплаву марки АМц із використанням різної кількості проміжних шарів з алюмінієвої фольги товщиною 11 мкм. Зварювання сплаву проводили за режимом: густина струму 300-350 А/мм<sup>2</sup>, питомий тиск 2-3 МПа, тривалість імпульсу струму 0,1-1 с. Дослідження характеристик масоперенесення проводили за допомогою методу радіоактивних ізотопів.

*Висновки відповідно до статті.* Досліджено особливості процесів масоперенесення при електроконтактному зварюванні алюмінію через прошарки. Визначено залежність коефіцієнта масоперенесення в контактній зоні від кількості прошарків. Встановлено, що при зварюванні сплаву АМц дифузійна зона є максимальною при зварюванні через 4 прошарки.

*Ключові слова:* алюміній; електроконтактне зварювання; проміжний прошарок; масоперенесення; дифузійна взаємодія; радіоактивний ізотоп; зварне з'єднання.

**Постановка проблеми.** Явище дифузії відіграє суттєве значення для багатьох технологічних процесів, а особливо для зварювання у твердій фазі. Дифузійна взаємодія у процесі зварювання однорідних та різнорідних матеріалів у кожному конкретному випадку є необхідною умовою для визначення найбільш оптимальних параметрів процесу.

Тому дослідження дифузійних процесів та встановлення закономірностей масоперенесення є актуальним завданням та має практичне значення для розроблення нових технологій зварювання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Алюміній та його сплави є одним із найбільш поширених конструкційних матеріалів авіаційної та космічної техніки, транспортного та хімічного машинобудування, автомобільної та харчової промисловості.

Одним із ефективних методів зварювання алюмінію є електроконтактне зварювання, особливостями якого є незначна тривалість процесу, висока швидкість нагріву зони з'єднання електричним струмом та значна пластична деформація металу в зоні контакту [1]. Це призводить до зниження площі перерізу зварного з'єднання та зменшення міцності зварних з'єднань. Крім цього, деякі вироби при отриманні нероз'єднаних з'єднань потребують обмеження макродеформацій.

Одним із перспективних методів одержання прецизійних нероз'єднаних з'єднань з алюмінію та його сплавів є електроконтактне зварювання через проміжні прошарки зі зварювального матеріалу [2; 3]. Використання проміжних прошарків призводить до активзації поверхонь деталей, що зварюються, та локалізації теплової енергії у стику. Однак на сьогодні в літературі відсутня інформація щодо особливостей процесу масоперенесення у процесі прецизійного електроконтактного зварювання через проміжні прошарки зі зварювального матеріалу.

Серед ефективних сучасних методів вивчення процесів дифузії та самодифузії широко застосовується авторадіографія [4]. Використання радіоактивних ізотопів відкриває нові можливості для дослідження дифузійних процесів завдяки високій чутливості, точності та інформативності.

Ефективність методу радіоактивних ізотопів у процесі дослідження зварних з'єднань, отриманих зварюванням тиском через різні прошарки, у тому числі із покриттями, встановлена авторами робіт [5–9].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Недослідженими нині залишаються механізми визначення оптимальної кількості проміжних прошарків у процесі прецизійного електроконтактного зварювання алюмінію та його сплавів.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є вивчення впливу кількості проміжних прошарків на процеси масоперенесення у процесі прецизійного електроконтактного зварювання алюмінію та його сплавів.

**Виклад основного матеріалу.** Відпрацювання методики дослідження процесу електроконтактного зварювання здійснено на модельній парі АМц-АМц із використанням проміжних шарів з фольги чистого алюмінію, товщина якої становила 11 мкм.

Промисловий алюмінієвий сплав марки АМц характеризується високою пластичністю та технологічністю, високою корозійною стійкістю та гарною здатністю до зварювання. Склад сплаву алюмінію марки АМц (у ваг. %) наведено у табл. 1 [10].

Таблиця 1

Склад сплаву алюмінію марки АМц (у ваг. %)

Fe	Si	Mn	Al	Cu	Zn	Домішки
до 0,7	до 0,6	1-1,5	96,35-99	0,05-0,2	до 0,1	до 0,15

Експерименти виконувалися на машині для контактного точкового зварювання МТ-1216 (номінальний зварювальний струм 12 кА, номінальна потужність 53 кВ·А, максимальний тиск на електродах 500 кг).

Зварювання сплаву АМц проводили за таким режимом: густина струму 300-350 А/мм<sup>2</sup>, питомий тиск 2-3 МПа, тривалість імпульсу струму 0,1–1 с. Процес проводили на зразках з двома, чотирма та шістьма шарами фольги алюмінію, розміщеними між зварними деталями.

Дослідження проводилися сумісно з інститутом металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України. Для аналізу характеристик масоперенесення в зоні контакту на один із зразків, який зварюється, здійснювалося нанесення радіоактивного ізотопу кобальту <sup>60</sup>Со з максимальною енергією поглинання β-випромінювання 0,067 МеВ та іонізуючою здатністю 1,48 см<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>.

Для зняття напружень та стабілізації структури зразки перед насиченням радіоактивним ізотопом відпалювалися. Після відпалу на одну з поверхонь одного зі зразків наносили шар ізотопу <sup>60</sup>Со товщиною 3-5 мкм та вихідною активністю 5·10<sup>3</sup> імп/хв.

Складання деталей здійснювалося внапуск у послідовності АМц (<sup>60</sup>Со) - фольга - АМц, причому зразок із радіоактивним ізотопом знаходився знизу. Після зварювання зразок розрізали по центру зварного з'єднання та розміщували на фоточутливій плівці для авторадіографування з наступною витримкою на ній протягом 240 годин та проявляли плівку. Після проявлення плівку фотометрували та одержували концентраційний розподіл радіоактивного ізотопу кобальту в алюмінії. Отримані авторадіограми для трьох різних випадків зображені на рис. 1 (стрілками показано місце стику деталей).

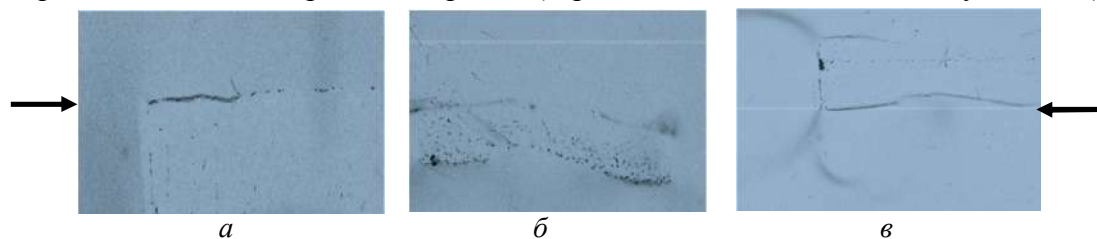


Рис. 1. Авторадіографічні відбитки зони з'єднання зразків у процесі зварювання алюмінію через фольгу: а – 2 шари; б – 4 шари; в – 6 шарів



Розподілення радіоактивного ізотопу у стику (у перерізі по центру зварного з'єднання) після зварювання для трьох різних випадків представлено у вигляді концентраційних кривих на рис. 2.

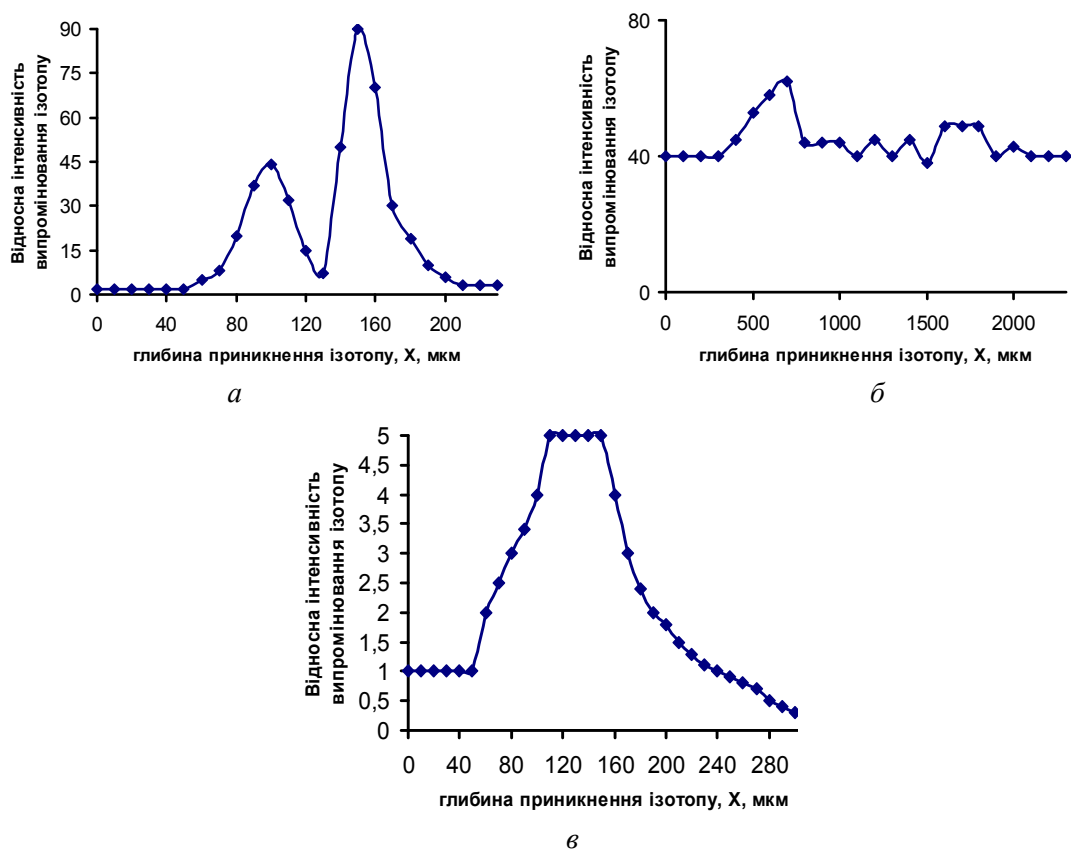


Рис. 2. Концентраційні криві розподілу радіоактивного ізотопу кобальту в алюмінії після зварювання через фольгу: а – 2 шари; б – 4 шари; в – 6 шарів

Вивчення концентраційних кривих показує, що у трьох різних випадках зварювання (через 2, 4 та 6 шарів фольги) механізми утворення з'єднань відрізняються. Про це свідчать особливості розподілу радіоактивного ізотопу в стику, форма концентраційних кривих та глибина проникнення ізотопу  $^{60}\text{Co}$  у зварні зразки.

Аналіз авторадіограми у випадку зварювання через 2 шари фольги (рис. 1, а) свідчить про наявність пор у зоні зварювання. З концентраційної кривої (рис. 2, а) випливає, що напівширина пори становить близько 20 мкм, а її протяжність – приблизно 120 мкм. Якість зварного з'єднання незадовільна, оскільки наявність пор може призвести до появи тріщин у зоні зварювання та подальшого руйнування зварного виробу в процесі експлуатації. Разом з тим спостерігається відсутність границі розділу між деталями, які зварюються, що свідчить про утворення монолітного з'єднання.

Під час аналізу авторадіограми (рис. 1, б) та концентраційної кривої (рис. 2, б) у випадку зварювання через 4 шари фольги наявність пор не виявлена. Спостерігається відсутність чіткої границі розмежування між зразками, які зварюються, та фольгами, що свідчить про утворення монолітного з'єднання. Глибина проникнення ізотопу в алюміній у цьому випадку значно вище, ніж у попередньому.

Особливу увагу привертає той факт, що весь об'єм зразка, який не містить ізотоп, заповнений відламками зразка, вкритого ізотопом. Цей ефект, очевидно, пояснюється проходженням явища надглибокого проникнення частинок у металічну перешкоду [11; 12], що проявляється у проникненні частинок на значну глибину в метал (сотні та тисячі їх діаметрів) у процесі руху цих частинок з великою швидкістю (вище  $10^3$  м/с) та налітання на металічну перешкоду.

З аналізу концентраційної кривої у разі зварювання алюмінію через 6 шарів фольги (рис. 2, в) випливає, що в зоні контакту зразків утворюються протяжні зони дифузійної взаємодії металів, які зварюються (рис. 2, в). При цьому чітко спостерігається асиметрія вказаних кривих у бік, де розміщені фольги.

Оцінка величин коефіцієнтів масоперенесення  $D_m$  проводилась за формулою Ейнштейна [13]:

$$D = \frac{x^2}{2\tau}, \quad (1)$$

де  $x$  – глибина проникнення ізоотопу, см;  $\tau$  – тривалість процесу зварювання, с.

Визначені за даними концентраційними кривими коефіцієнти масоперенесення у перерізі по центру кожного зразка наведено у табл. 2 (зразок № 1 – зварений через 2 шари фольги, зразок № 2 – через 4 шари, зразок № 3 – через 6 шарів).

Таблиця 2

Значення коефіцієнтів масоперенесення радіоактивного ізоотопу

Номер зразка					
№ 1		№ 2		№ 3	
$D_m, \text{см}^2/\text{с}$					
зліва	справа	зліва	справа	зліва	справа
$6,4 \cdot 10^{-5}$	$6,25 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$7,2 \cdot 10^{-2}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$	$6,4 \cdot 10^{-4}$

З одержаних результатів видно, що коефіцієнт масоперенесення у процесі зварювання через 4 шари фольги у 2–3 рази вище, ніж у інших двох випадках. Слід відзначити, що значення коефіцієнтів приблизно у 4–6 разів є вищими порівняно із коефіцієнтом самодифузії алюмінію.

При відпалі алюмінію при температурі 873 К коефіцієнт самодифузії Al становить  $D_{\text{Al-Al}} = 6,1 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$ , а дифузії Co в Al при тій самій температурі  $D_{\text{Co-Al}} = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2/\text{с}$  [14]. Результат такого пришвидшеного масоперенесення можна пояснити протіканням у процесі зварювання явища аномального масоперенесення в металах та сплавах, яке спостерігається при імпульсних впливах [8; 9].

Розраховані за формулою (1) значення коефіцієнтів масоперенесення зображено у вигляді гістограми на рис. 3.

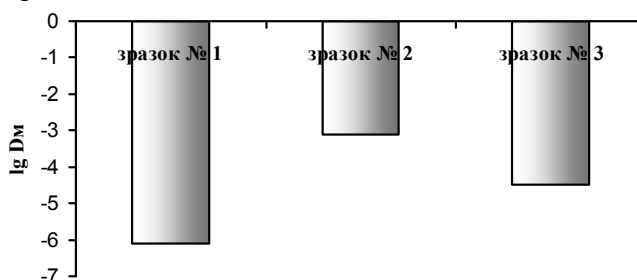


Рис. 3. Гістограма величин коефіцієнтів масоперенесення у перерізі по центру кожного зразка

Очевидно, що максимальне значення коефіцієнта масоперенесення спостерігається у зразку № 2, отриманого електроконтактним зварюванням через 4 шари алюмінієвої фольги, що свідчить про найбільш ефективне проходження дифузійних процесів у зоні з'єднання.

**Висновки і пропозиції.** Показано ефективність використання радіографічного методу для дослідження дифузійних процесів у процесі прецизійного електроконтактного зварювання.

Встановлено, що під час електроконтактного зварювання сплаву АМц через проміжні прошарки з алюмінію товщиною 11 мкм коефіцієнти масоперенесення в зоні контакту залежать від кількості прошарків.

Показано, що у всіх розглянутих випадках спостерігається перерозподіл радіоактивного ізоотопу в алюмінії на десятки та сотні мікрон в обидва боки від його початкового

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

розподілу. При цьому у стику відзначається відсутність границі розділу на шліфах зварних зразків, що свідчить про утворення якісного зварного з'єднання.

Визначено оптимальну кількість прошарків для цього способу зварювання. Встановлено, що у процесі зварювання сплаву марки АМц дифузійна зона є максимальною у разі зварювання через 4 прошарки та становить близько 2000 мкм.

**Список використаних джерел**

1. Гуляев А. И. Технология и оборудование контактной сварки / А. И. Гуляев. – М. : Машиностроение, 1985. – 254 с.
2. Прецизійне електроконтактне точкове зварювання металевих матеріалів / О. О. Новомлинець, С. В. Олексієнко, І. В. Завальна, С. В. Половецький // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2. – С. 104–111.
3. Новомлинець О. О. Способи зварювання тиском алюмінієвих сплавів з обмеженням рівня деформації / О. О. Новомлинець, С. В. Олексієнко, С. М. Ющенко // Ukraine – EU. Modern Technology, Business and Law: collection of international scientific papers : in 2 parts. Part 1. Modern Priorities of Economics. Engineering and Technologies. – Chernihiv : CNUT, 2016. – Pp. 371–373.
4. Энциклопедия современной техники [Электронный ресурс]. – М. : Советская энциклопедия, 1964. – Режим доступа : <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-enciklopedia-tehniki/index.htm>.
5. Ганєєв Т. Р. Особливості дифузійної взаємодії міді та молибдену під час зварювання тиском / Т. Р. Ганєєв // Технічні науки та технології. – 2015. – № 2 (2). – С. 55–61.
6. Миграция атомов в алюминии, меди и никеле при действии деформации и импульсного электрического тока / В. Ф. Мазанко, Д. С. Герцрикен, С. П. Ворона, В. М. Миронов, В. В. Омеляненко // Вісник Черкаського університету. – 2003. – Вип. 53. Сер. Фізико-математичні науки. – С. 21–37.
7. Миронов Д. В. Диффузия в меди и никеле при действии электропластического эффекта / Д. В. Миронов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2008. – Т. 10, № 3. – С. 744–747.
8. Сидоренко С. І. Аномальне масоперенесення. Закономірності та механізми : навчальний посібник для студентів технічних спеціальностей вищих закладів освіти / С. І. Сидоренко, О. В. Філатов, С. М. Волошко. – К. : Політехніка, 2008. – 68 с.
9. Массоперенос в металлах при действии магнитных полей и импульсных деформаций / Д. В. Миронов, В. М. Миронов, Д. С. Герцрикен, В. Ф. Мазанко. – Самара : Самарский университет, 2011. – 276 с.
10. Конструкционные материалы : справочник / Б. Н. Арзамасов, В. А. Бростем, Н. А. Буше и др. ; под общ. ред. Б. Н. Арзамасова. – М. : Машиностроение, 1990. – 688 с.
11. Киселев С. П. О механизме сверхглубокого проникания частиц в металлическую преграду / С. П. Киселев, В. П. Киселев // Прикладная механика и техническая физика. – 2000. – Т. 41, № 2. – С. 37–44.
12. Usherenko S. M. Consideration of Results on superdeep penetration of particles into metallic obstacles / S. M. Usherenko, O. A. Dibov, O. I. Koval // Journal of Engineering and thermophysics. – 2002. – Vol. 75, № 2. – Pp. 508–512.
13. Маннинг Дж. Кинетика диффузии атомов в кристаллах / Дж. Маннинг ; пер. с англ. Д. Е. Темкина ; под ред. Б. Я. Любова. – М. : Мир, 1971. – 278 с.
14. Mehrer H. Diffusion in Solids: Fundamentals, Methods, Materials, Diffusion-Controlled Processes / H. Mehrer. – Luxemburg: Springer Science & Business Media, 2007. – 654 p.

**References**

1. Guliaiev, A.I. (1985). *Tekhnologiya i oborudovaniie kontaktnoi svarki [Technology and equipment of resistance welding]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
2. Novomlynets, O.O., Oleksiienko, S.V., Zavalna, I.V. & Polovetskyi, Ye.V. (2014). Pretsyziine elektrokontaktne tochkove zvaryuvannya metalevykh materialiv [High-precision electrocontact spot welding of metallic materials]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tehnologichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 2, pp. 104–111 (in Ukrainian).
3. Novomlynets, O.O., Oleksiienko, S.V., Yushchenko, S.M. (2016). Sposoby zvaryuvannya tyskom aliuminiievykh splaviv z obmezheniam rivnia deformatsii [Pressure welding technics of aluminium alloys with limitation of deformation level]. *Ukraine – EU. Modern Technology, Business and*

*Law: collection of international scientific papers: in 2 parts. Part 1. Modern Priorities of Economics, Engineering and Technologies.* Chernihiv: CNUT, pp. 371–373 (in Ukrainian).

4. *Entsiklopediia srovennoi tekhniki [Encyclopedia of modern technics]*. Moscow: Sovetskaia entsiklopediia. Retrieved from <http://www.bibliotekar.ru/spravochnik-181-enciklopedia-tehniki/index.htm>.

5. Hanieiev, T.R. (2015). Osoblyvosti dyfuziinoi vzaiedonii midi ta molibdenu pid chas zvariuvannia tyskom [Features of diffusion interaction of copper and molybdenum during the pressure welding]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technology*, no. 2 (2), pp. 55–61 (in Ukrainian).

6. Mazanko, V.F., Gertsriken, D.S., Vorona, S.P., Mironov, V.M. & Omelianenko, V.V. (2003). Migratsiia atomov v aliuminii, medi i nikelu pri deistvii deformatsii i impulsnogo elektricheskogo toka [Migration of atoms in aluminium, copper and nickel under deformation and pulse electric current]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu – Cherkasy University Bulletin*, issue 53, pp. 21–37 (in Russian).

7. Mironov, D.V. (2008). Diffuziia v medi i nikelu pri deistvii elektroplasticheskogo efekta [Diffusion in copper and nickel under electroplastic effect]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk – Proceedings of the Samara scientific center of the Russian Academy of Sciences*, vol. 10, no. 3, pp. 744–747 (in Russian).

8. Sydorenko, S.I., Filatov, O.V. & Voloshko, S.M. (2008). *Anomalne masoperenesennia. Zakonomirnosti ta mekhanizmy [Anomalous mass transfer. Regularities and mechanisms]*. Kyiv: Politekhnik (in Ukrainian).

9. Mironov, D.V., Mironov, V.M., Gertsriken, D.S. & Mazanko, V.F. (2011). *Massoperenos v metallakh pri deistvii magnitnykh polei i impulsnykh deformatsii [Mass transfer in metals under magnetic field and pulsed deformations]*. Samara: Samarskii universitet (in Russian).

10. Arzamasov, B.N. (ed.), Brosten, V.A., Bushe, N.A. et al. (1990). *Konstruktсионnye materially: spravochnik [Structural Materials: Handbook]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).

11. Kiselev, S.P. & Kiselev, V.P. (2000). O mekhanizme sverkhglubokogo pronikaniia chastits v metallicheskuu pregradu [On the mechanism of ultradeep penetration of particles into metal barrier]. *Prikladnaia mekhanika i tekhnicheskaiia fizika – Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*, vol. 41, no. 2, pp. 37–44 (in Russian).

12. Usherenko, S.M., Dibov, O.A., Koval, O.I. (2002). Consideration of Results on superdeep penetration of particles into metallic obstacles. *Journal of Engineering and thermophysics*, vol. 75, no. 2, pp. 508–512.

13. Manning, J., Liubov, B.Ia. (ed.) (1971). *Kinetika diffuzii atomov v kristalakh [Diffusion Kinetics for Atoms in Crystals]* (Temkin, D.E., Trans.). Moscow: Mir (in Russian).

14. Mehrer, H. (2007). *Diffusion in Solids: Fundamentals, Methods, Materials, Diffusion-Controlled Processes*. Luxemburg: Springer Science & Business Media.

*Volodymyr Mazanko, Oleh Novomlynets, Serhii Oleksiienko, Svitlana Yushchenko*

## INVESTIGATION OF MASS TRANSFER PROCESSES DURING HIGH-PRECISION ELECTRIC RESISTANCE WELDING OF ALUMINIUM

**Urgency of the research.** Wide application of aluminium and its alloys in industry causes the necessity of improvement current getting ways of their permanent joints in solid phase.

**Target setting.** Investigation of diffusion processes and ascertainment of mass transfer regularities is the actual task for studying of joint formation process during welding in solid phase and it has a practical importance during the development of new welding technologies.

**Actual scientific researches and issues analysis.** One of the most perspective joining methods of aluminium in solid phase is high-precision electric resistance welding through intermediate layers of welded material. Their application promotes to activation of metal surface and localization of heat energy in the joint.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Mass transfer processes in joining zone and identification mechanisms of optimal quantity of interlayers during electric resistance welding of aluminium and alloys remain unstudied.

**The research objective.** Aim of the paper is the investigation of the influence of quantity interlayers on mass transfer processes during electric resistance welding of aluminium and alloys.

**The statement of basic materials.** Tryout of research technique has been carried out in terms of electric resistance welding of aluminium alloy AlMn1 with using of intermediate layers of aluminium foil by thickness 11  $\mu\text{m}$ . Welding has been implemented in next conditions: the current density 300-350  $\text{A}/\text{mm}^2$ ; the specific pressure 2-3 MPa; the duration current impulse 0.1-1 sec. The investigation of mass transfer characteristics has been carried out by the radioactive tracer technique.

**Conclusions.** Features of mass transfer during electric resistance welding of alloy AlMn1 through interlayers have been examined. The dependence of mass transfer coefficient on the interlayers' quantity has been determined. It has been indicated that the diffusion zone width is maximal during welding through four layers.

**Key words:** aluminium, resistance welding, intermediate layer, mass transfer, diffusion interaction, radioactive tracer, welded joint.

*Владимир Мазанко, Олег Новомлинец, Сергей Олексіенко, Светлана Ющенко*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ПРЕЦИЗИОННОЙ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ СВАРКЕ АЛЮМИНИЯ

*В связи с широким применением алюминия и его сплавов во многих отраслях промышленности актуальной задачей является усовершенствование существующих способов получения их неразъемных соединений в твердой фазе. Одним из перспективных способов соединения алюминия в твердой фазе является прецизионная электроконтактная сварка через промежуточные слои из свариваемого материала. Важным вопросом при изучении процесса образования соединения во время электроконтактной сварки является исследование процессов массопереноса в металле.*

*Проведено исследование электроконтактной сварки на модельной паре АМц-АМц с использованием промежуточных слоев из алюминиевой фольги. С помощью метода радиоактивных изотопов определены особенности диффузионного взаимодействия и массопереноса алюминия в зоне контакта. Установлено оптимальное количество промежуточных слоев для электроконтактной сварки алюминиевого сплава марки АМц.*

**Ключевые слова:** *алюминий; электроконтактная сварка; промежуточная прослойка; массоперенос; диффузионное взаимодействие; радиоактивный изотоп; сварное соединение.*

**Мазанко Володимир Федорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач відділу фізики нестационарного масопереносу, Інститут металофізики ім. Г.В. Курдюмова НАН України (бульвар Академіка Вернадського, 36, м. Київ, 03680, Україна).

**Мазанко Владимир Федорович** – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом физики нестационарного массопереноса, Институт металофизики им. Г.В. Курдюмова НАН Украины (бульвар Академика Вернадского, 36, г. Киев, 03680, Украина).

**Mazanko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Non-stationary Mass-transfer Physics, G.V. Kurdyumov Institute for Metal Physics (36 Academic Vernadskyi Blvd., 03680 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** vmazanko@imp.kiev.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2494-3973>

**Scopus Author ID:** 6603857568

**Новомлинець Олег Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Новомлинец Олег Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Novomlynets Oleh** – 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., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oon1@ukr.net

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

**Researcher ID:** F-8166-2014

**Scopus Author ID:** 56938958300; 6507741249

**Олексіенко Сергій Владиславович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Олексіенко Сергей Владиславович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**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., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**Researcher ID:** F-8197-2014

**Scopus Author ID:** 57190370561

**Ющенко Світлана Михайлівна** – асистент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Ющенко Светлана Михайловна** – ассистент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Yushchenko Svitlana** – assistant Lecturer of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**Researcher ID:** F-7741-2014

**Scopus Author ID:** 57190373626

УДК 673.632

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-82-88

*Александр Буря, Ли Минг-занг, Елена Липко, Анна-Мария Томина, Ольга Кузнецова*

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ОРГАНОПЛАСТИКОВ НА ОСНОВЕ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНОЙ СМОЛЫ

**Актуальность темы исследования.** На сегодняшний день современная техника немыслима без широкого применения волокнистых полимерных композиционных материалов (ВПКМ), прочно занявших место в таких областях техники как авто -, судо – и приборостроение. ВПКМ в сочетании с удобством переработки, позволяют снизить массу изделий, уменьшить трудоемкость их изготовления, материалоемкость, повысить конкурентноспособность.

**Постановка проблемы.** Эксплуатационные характеристики исходных полимеров, не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к конструкционным пластмассам. Поэтому часто их заменяют органо-волокнистыми (изотропные материалы), состоящими из на основе терморезистивных связующих хаотично армированных дискретными волокнами, в частности – фенолформальдегидной смолы (ФФС), получившей широкое использование благодаря давно налаженному производству, малой стоимости, сочетанию таких ценных свойств, как термостойкости и относительно высокой адгезии к армирующим компонентам.

**Анализ последних исследований и публикаций.** ФФС в процессе переработки дают возможность при взаимодействии с другими веществами получать изделия минуя стадии полимеризации или поликонденсации. В отличие от ряда различных видов армированных и наполненных изделий, характеристики которых формируются непосредственно в процессе изготовления, полуфабрикаты из органо-волокнистых на основе ФФС готовятся заранее и могут храниться до 3-4 месяцев без ухудшения технологических и эксплуатационных характеристик.

**Определение не решенных частей общей проблемы.** В настоящей работе представлены результаты исследований физико-механических и теплофизических свойств органо-пластиков, наполненных органическими волокнами Русар и Танлон, отличающимися от типичных представителей органических волокон, соответственно высокими прочностными показателями и термостойкостью.

**Постановка задачи.** Исследование влияния термостойких органических волокон на свойства органо-волокнистых на основе фенолформальдегидной смолы.

**Изложение основного материала.** Для определения физико-механических и теплофизических показателей были изготовлены и изучены композиции содержащие органические волокна длиной 7 мм.в количестве 60 (Русар) и 60-70 (Танлон) мас. %.

**Выводы.** Результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что органо-пластик армированный 60 мас. % волокна Русар, превышает по прочностным свойствам материал содержащий полисульфонамидное волокно в 1,76-2,5 раза, но по термостойкости уступает композиту с 70 мас. % ПСА в 1,4-2,3 раза.

**Ключевые слова:** органо-пластик; волокно; фенолформальдегидная смола.

**Постановка проблемы.** Перспективы развития новой техники в настоящее время связывают с широким использованием полимерных волокнистых композиционных материалов (ВПКМ) [1], обладающих высокими прочностными характеристиками при малом удельном весе. ВПКМ уже давно вытеснили стандартные материалы и технологии в таких отраслях техники, как авиа-, машино-, судо- и ракетостроение. Использование изделий с бронзы, стали, баббита и др. в высоконагруженных узлах трения транспортных машин, работающих в самых различных условиях работы (например, нефтеперекачивающей станции, гидроэлектростанции, металлургического прокатного стана), приводит к их отказам, сопровождаемых аварийными ситуациями, катастрофами и значительными экономическими потерями. Полимерные композиционные материалы позволяют увеличить ресурс механизмов, повысить их надежность, снизить затраты при ремонте и эксплуатации [2].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Особый интерес вызывают органо-волокнисты содержащие термостойкие органические волокна типа СВМ, Русар, Кевлар и др. [3], пропитанные фенолформальдегидными смолами (ФФС), которые являются наиболее широко распространенной группой конструкционных композитов [4]. Благодаря сочетанию достаточно высоких физико-механических и теплофизических свойств, хорошей совместимости с различными по виду и количеству наполнителями, технологичности, а также сравнительно низкой стоимости они применяются для изготовления деталей общего технического назначения, работающих на изгиб и кручение (рукоятки, стойки, направляющие втулки, шкивы, маховики и т. д.). ФФС являются наиболее подходящими материалами для защиты ракет и космических спутников от действия высо-

ких температур, так как они образуют при этом оболочку из кокса, устойчивую к действию высоких температур [5; 6].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** В настоящей работе представлены результаты исследований физико-механических и теплофизических свойств органопластиков, наполненных органическими волокнами Русар и Танлон, что отличаются от типичных представителей органических волокон, соответственно, высокими прочностными показателями и термостойкостью.

**Цель работы.** Исследование влияния термостойких органических волокон на свойства композитов на основе фенолформальдегидной смолы.

В качестве связующего использовали фенолформальдегидную смолу ЛБС-1 (ГОСТ 901-78), представляющую собой спиртовой раствор резольной (фенольной или крезольной) смолы. Применяется для покрытий и пропитки различных материалов. Покрытия из бакелитового лака стойки к действию растворов кислот, солей и ряда органических растворителей, нестойки к действию щелочей и окислителей [7].

В качестве наполнителей выбрали:

- органическое параарамидное волокно Русар – С (производство Россия), которое является бесспорным лидером по прочности и другим физико-химическим характеристикам среди арамидных волокон (табл. 1). При равном весе Русар – С оказывается прочнее стали в пять раз [8];

- органическое полисульфонамидное (ПСА) волокно Танлон Т700 (производство Шанхай), следующего строения (табл. 1):

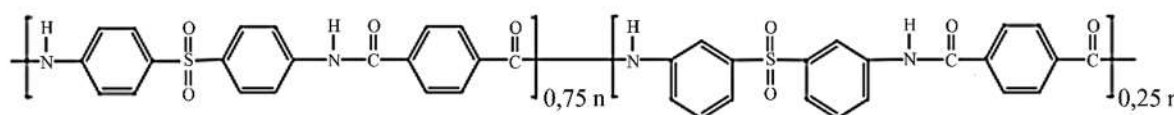


Таблица 1

Свойства волокон

Показатель	Русар - С	Танлон Т 700
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,45	1,42
Модуль упругости при растяжении, ГПа	170	7,45
Относительное удлинение при разрыве, %	3,3	20-25
Прочность при разрыве, сН / дтекс	5,5-6,5*	>3
Температура размягчения, К	700-755	640
Температура эксплуатации, К:		
-длительной;	433-453	523
-кратковременной	573	573
Кислородный индекс	35	33

\*при испытании микропластика.

Джерело: [1; 9].

Композиции из фенолформальдегидной смолы марки ЛБС-1 (ГОСТ 901-78) 30–40 мас. % и хаотически расположенного в нем волокнистого наполнителя: параарамидного Русар-С (60 мас. %) и полисульфонамидного Танлон Т700 (60–70 мас. %) готовили по такой технологической схеме:

- приготавливали раствор фенолформальдегидного связующего для пропитки – бакелитовый лак разводили ацетоном до концентрации 30–35 % (в пересчете на сухой олигомер);

- пропитку связующего волокнистым наполнителем проводили механическим смешением (хаотическое армирование);

- феноорганопрепрег сушили 24 часа на воздухе при комнатной температуре и при 353 К в термошкафу до обеспечения оптимальных технологических параметров: содержание летучих в фенопрепреге 6,0–6,5 %;

- прессование образцов органопластиков проводили при удельном давлении 35–40 МПа и температуре 433 К, температура загрузки пресс-материала в пресс-форму и температура выгрузки – 353 К, скорость подъема температуры 2 град/мин [10].

Разрушающее напряжение и относительную деформацию при сжатии определяли согласно ГОСТ 4651-78 на испытательной машине FP-100. Плотность образцов находили аддитивным и гидростатическим методом согласно ГОСТ 15139-69. Исследование микротвердости полученных органопластиков проводили при помощи прибора ПМТ-3М. Изучение термостойкости и кинетики термолиза органопластиков проводили методом ТГА с использованием дериватографа Q – 1500Д системы Паулик – Паулик – Эрдей венгерской фирмы MOM в интервале температур 298–1273 К со скоростью подъема температуры – 283 К/мин, масса образца составляла 200 мг.

Термостойкость является одной из важных характеристик полимерных материалов, работающих в экстремальных условиях, основным методом определения которой является термогравиметрический анализ (рис. 1).

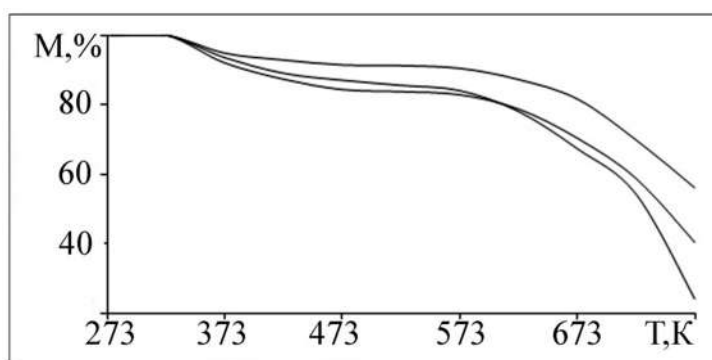


Рис. 1. ТГА кривые органопластиков, содержащих: 60 мас. % волокна Русар (1), 60 (2) и 70 (3) мас. % волокна Танлон

Как видно из рис. 1 на первом этапе для всех исследуемых материалов в температурном диапазоне 273–373 К наблюдается уменьшение массы на 2–7% за счет удаления влаги. Интенсивная деструкция органопластиков, сопровождаемая значительной потерей массы, начинается после 573 К. Судя из данных термогравиметрического анализа, максимальное значение термостойкости наблюдается в ОП содержащего 70 мас. % ПСА (табл. 2), что объясняется высокой термоокислительной устойчивостью волокна Танлон.

Таблица 2

Термостойкость органопластиков на основе ЛБС-1

Т, К	Содержание волокна мас. %		
	60 мас. % Русар	60 мас. % ПСА	70 мас. % ПСА
273	100	100	100
323	100	100	100
373	93,5	92	94,8
423	89	87,3	92,8
473	87	84,3	91,4
523	85,5	83,7	91,2
573	84	82,8	90,4
623	78	78,7	87,2
673	67,3	70,3	81,6
723	54,2	58,7	69,8
773	24	40,3	56

Кривые полученных органопластиков (рис. 2), согласно классификации Херцберга [11] относятся к кривым II типа – характеризующим упругое гомогенно-пластическое поведение: на кривых помимо прямолинейного участка, соответствующего упругой де-



формации образцов, наблюдается параболический участок кривой, описывающий гомогенно – пластическую деформацию, которая приводит к необратимым изменениям формы рис. 3. Пластическая деформация возникает в результате необратимого перемещения дислокаций: одна часть кристалла перемещается относительно другой, что приводит к деформационному упрочнению. В результате, кривая в своей параболической части поднимается до значения некоторого максимального напряжения, за счет возрастающего сопротивления со стороны материала наращиванию пластической деформации.

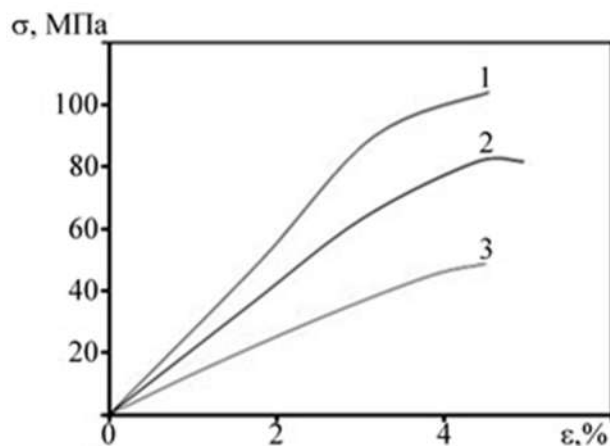


Рис. 2. Кривые сжатия органопластиков на основе смолы ЛБС-1, содержащих: 60 мас. % волокна Русар (1), 60 (2) и 70 (3) мас. % Танлон



Рис. 3. Характер разрушения композитов, содержащих: 60 мас. % волокна Русара (а), 60 (б) и 70 (в) мас. % Танлона

Таблица 3

*Прочностные характеристики органопластиков*

Композиция	Модуль упругости E, МПа	Предел текучести $\sigma_t$ , МПа	Относительная деформация $\epsilon$ , %	Микротвердость, МПа
ЛБС-1+60% ПСА	2152	82	4,9	317
ЛБС-1+70% ПСА	1419	49	4,5	291
ЛБС-1+60% Русар	2820	104	4,6	200

Что касается механических характеристик, то, как видно из табл. 3, максимальные показатели наблюдаются в ОП, содержащего 60 мас. % волокна Русар - С. При введении такого же количества полисульфонамидного волокна прочность значительно ниже, что объясняется более низкой прочностью самого волокна по сравнению с Русаром (табл. 1), и продолжает снижаться при дальнейшем увеличении содержания данного волокна до 70 мас. %.

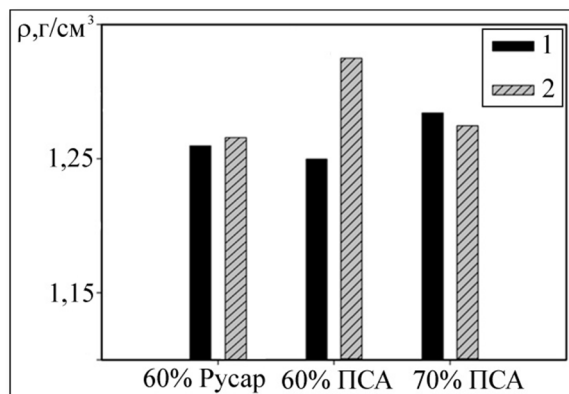


Рис. 4. Расчетная (1) и экспериментально определенная гидростатическим методом (2) плотность органоластиков

Подтверждением сказанного служит тот факт, что экспериментальная плотность ОП, содержащего 70 мас. % ПСА, меньше расчетной (рис. 4), упаковка макромолекул в поверхностном слое становится более рыхлой: в силу затруднения протекания релаксационных процессов при формировании органоластика.

**Выводы.** Из полученных данных видно, что ОП, армированный 60 мас. % волокна Русар, превышает по прочностным свойствам материал, содержащий полисульфонамидное волокно, в 1,76–2,5 раза, но по термостойкости уступает композиту с 70 мас. % ПСА в 1,4–2,3 раза.

#### Список использованных источников

1. Черкасова Н. Г. Реактопласты, хаотически армированные химическими волокнами / Н. Г. Черкасова, А. И. Буря. – Днепропетровск : ИМА–пресс, 2011. – 234 с.
2. Нелюб В. А. Применение полимерных композиционных материалов в судостроении для ремонта корабельных надстроек / В. А. Нелюб // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2013. – № 5. – С. 21–24.
3. Перепелкин К. Е. Армирующие волокна и волокнистые полимерные композиты / К. Е. Перепелкин. – СПб. : Научные основы и технологии, 2009. – 379 с.
4. Юскаев В. Б. Композиционные материалы : учебное пособие / В. Б. Юскаев. – Сумы : СумДУ, 2006. – 199 с.
5. Гаврилов Г. Н. Материаловедение. Неметаллические материалы / Г. Н. Гаврилов, В. К. Сорокин. – Нижний Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т, 2008. – 46 с.
6. Справочник по пластическим массам / под ред. М. И. Гарбара, М. С. Акутина, Н. М. Егорова. – М. : Химия, 1967. – 462 с.
7. Коршак В. В. Термостойкие полимеры / В. В. Коршак. – М. : Наука, 1969. – 411 с.
8. Шебанов С. М. Увеличения прочности нити Русар – С при обработке суспензией углеродного наноструктурного материала «Таунит» / С. М. Шебанов, В. Г. Бова, И. К. Новиков // Композитный мир. – 2016. – № 1. – С. 67–69.
9. Шебанов С. М. Увеличение прочностных характеристик арамидного волокна Русар при электромагнитной обработке / С. М. Шебанов, И. К. Новиков // Наука и мир. – 2014. – Т. 1, № 10. – С. 81–83.
10. Пат. 2374279 С2 Российская Федерация, МПК С 08 L 77/10, 61/20, С 08 J 5/14. Полимерная композиция конструкционного назначения / А. И. Буря, Н. Г. Черкасова, Н. Т. Арламова, И. В. Тихонов, В. Н. Сугак ; заявитель и патентообладатель ООО НПП «Термотекс». – № 2005113831/04 ; заявл. 10.11.06 ; опубл. 27.11.09, Бюл. № 33.
11. Херцберг Р. В. Деформация и механика разрушения конструкционных материалов / Р. В. Херцберг ; [пер. с англ. ; под ред. М. Л. Бернштейна, С. П. Ефименко]. – М. : Металлургия, 1989. – 576 с.

## References

1. Cherkasova, N.G. & Burya, A.I. (2011). *Reaktoplasty, khaoticheski armovannyye khimicheskimi voloknami [Thermosets, chaotically reinforced by chemical fibers]*. Dnepropetrovsk: IMA-press (in Russian).
2. Neliub, V.A. (2013) Primenenie polimernykh kompozitsionnykh materialov v sudostroenii dlia remonta korabelnykh nadstroek [The use of polymer composite materials in the shipbuilding industry for the repair of ship superstructures]. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizaciya – Repairs. Recovery. Modernization*, no. 5. pp. 21–24 (in Russian).
3. Perepelkin, K.E. (2009). *Armirushshie volokna i voloknistyye polimernyye kompozity [The reinforcing fibers and fibrous polymer composites]*. Saint Petersburg: Scientific basis and technology (in Russian).
4. Iuskaev, V.B. (2006). *Kompozitsionnye materialy [Composite materials]*. Sumy: SumDU (in Russian).
5. Gavrilov, G.N., & Sorokin, V.K. (2008). *Materialovedenie. Nemetallicheskie materialy [Materials Science. Non-metallic materials]*. Nizhny Novgorod: Nizhegorod. gos. tehn. un-t (in Russian).
6. Garbara, M.I., Akutina, M.S., Egorova, N.M. (eds.) (1967). *Spravochnik po plasticheskim masam [Guide to plastic masam]*. Moscow: Himiia (in Russian).
7. Korshak, V.V. (1969). *Termostoikiye polimery [Resistant polymers]*. Moscow: Nauka (in Russian).
8. Shebanov, S.M. & Bova, V.G., Novikov, I.K. (2016). Uvelicheniia prochnosti niti Rusar – S pri obrabotke suspenziei uglernodnogo nanostrukturnogo materiala «Taudit» [Increase strength thread Rusar – With the processing of the suspension “Taudit” carbon nanostructured material]. *Kompozitnyi mir – Composite world*, no. 1, pp. 67–69 (in Russian).
9. Shebanov, S.M., Novikov, I.K. (2014). Uvelichenie prochnostnykh kharakteristik aramidnogo volokna Rusar pri elektromagnitnoi obrabotke [Increase strength characteristics of aramid fiber with the electromagnetic treatment Rusar]. *Nauka i mir – Science and peace*, vol. 1, no. 10, pp. 81–83 (in Russian).
10. Burya, A.I., Cherkasova, N.G., Arlamova, N.T., Tihonov, I.V., Sugak, V.N. (2006). *Polimernaia kompozitsiia konstrukcionnogo naznacheniia [The polymer composition construction purposes]*. Patent RF No. 2374279.
11. Herberg, R.V. (1989). *Deformatsiia i mehanika razrusheniia konstruktsionnykh materialov [Deformation and fracture mechanics structural materials]* (Bernshtein, M.L., Efimenko, S.P., Trans.). Moscow: Metallurgiya (in Russian).

Oleksandr Burya, Mingzhang Lee, Elena Lipko, Anna-Mariia Tomina, Olga Kuznetsova

## INVESTIGATION OF PROPERTIES OF ORGANOPLASTICS BASED ON PHENOL FORMALDEHYDE RESIN

**Research topicality.** Today modern technology is unthinkable without the extensive use of fibrous polymer composite materials (FPCM) that have firmly taken their place in such areas of technology as auto-, ship - and instrument construction. FPCM combined with ease of processing, allow to reduce product weight, reduce the work capacity of their manufacture and material consumption, as well as to improve competitiveness.

**Problem setting.** Exploitation characteristics of the initial polymers do not always meet the requirements to engineering plastics. Therefore, they are often replaced with organic fibrites (isotropic materials) composed of thermoreactive binders randomly reinforced with discrete fibers, in particular, with phenol-formaldehyde resin (PhFR), which has become widespread due to long-established production, low cost, the combination of valuable properties such as heat resistance and relatively high adhesion to reinforcing components.

**Analysis of recent research and publications.** During processing PhFR allow to obtain products avoiding the stage of polymerization or polycondensation in case of interaction with other substances. Unlike a number of different types of reinforced and filled products whose characteristics are formed directly in the manufacturing process, semifinished products made of organic fibrites based on PhFR are prepared in advance and can be stored up to 3-4 months without deterioration of technological and exploitative properties.

**The definition of unsolved parts of a general problem.** This paper presents the investigation results concerning physico-mechanical and thermophysical properties of organic plastics filled with organic fibers Rusar and Tanlon, different from the typical organic fibers by their high strength indices and thermal stability correspondingly.

**Task setting.** Investigation of the effect of heat-resistant organic fibers on the properties organic fibrites based on phenol formaldehyde resin.

**The main material delivery.** In order to determine the physico-mechanical and thermophysical indices, compositions containing organic fibers 7 mm long in the amount of 60 (Rusar) and 60-70 (Tanlon) wt.% have been produced and investigated.

**Conclusions.** The results of the held tests testify to the fact that organic plastics reinforced with 60 wt. % of Rusar fiber are advantageous over the material containing polysulfonamide fiber by 1.76-2.5 times in terms of mechanical properties, but are inferior to composites containing 70 wt. % of PSA by 1.4-2.3 times in terms of heat resistance.

*Олександр Буря, Лі Мінг-занг, Олена Липко, Анна-Марія Томіна, Ольга Кузнецова*  
**ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ОРГАНОПЛАСТИКІВ НА ОСНОВІ  
ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГІДНОЇ СМОЛИ**

*У статті розглянуто вплив органічних волокон на фізико-механічні та теплофізичні властивості фенолформальдегідної смоли. Встановлено, що найкращим комплексом механічних характеристик володіє органічний пластик, що містить 60 мас. % волокна Русар-С, а найбільшою термостійкістю – органічний пластик, наповнений 70 мас. % волокна Танлон.*

**Ключові слова:** органічний пластик, волокно, фенолформальдегідна смола.

**Буря Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри фізики конденсованого стану, Дніпропетровський державний технічний університет (ул. Дніпропетровська, 2, г. Кам'янське, 51918, Україна).

**Буря Олександр Іванович** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри фізики конденсованого стану, Дніпропетровський державний технічний університет (вул. Дніпропетровська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

**Burya Oleksandr** - PhD in Technical Sciences, Professor, Professor of Department of the Condensed Matter Physics, Dneprodzerzhinsk State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

**E-mail:** ol.burya@gmail.com

**Лі Мінг-занг** – директор, Харбінська Тондаска компанія автоматизації промисловості та охорони навколишнього середовища, Лтд (Китай).

**Лі Мінг-занг** – директор, Харбінська Тонданська компанія автоматизації промисловості та охорони навколишнього середовища, Лтд (Китай).

**Mingzhang Lee** – general manager, Harbin TongDa Industrial Environment Protection Automation Co., Ltd (China).

**Липко Елена Анатольевна** – старший научный сотрудник, Украинский государственный химико-технологический университет (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49005, Украина).

**Липко Елена Анатоліївна** – старший науковий співробітник, Український державний хіміко-технологічний університет (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49005, Україна).

**Lipko Elena** – Senior Researcher, Ukrainian State University of Chemical Technology (8 Gagarina Ave., 49005 Dnipro, Ukraine).

**Томіна Анна-Марія Вадимівна** – аспірант кафедри фізики конденсованого стану, Дніпропетровський державний технічний університет (ул. Дніпропетровська, 2, г. Кам'янське, 51918, Україна).

**Томіна Анна-Марія Вадимівна** – аспірант кафедри фізики конденсованого стану, Дніпропетровський державний технічний університет (вул. Дніпропетровська, 2, м. Кам'янське, 51918, Україна).

**Tomina Anna-Mariia** – Phd student of Department of the Condensed Matter Physics, Dneprodzerzhinsk State Technical University (2 Dniprobudivska Str., 51918 Kamianske, Ukraine).

**E-mail:** an.mtomina@gmail.com

**Кузнецова Ольга Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка, Днепропетровский государственный аграрно-экономический университет (ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, 49600, Украина).

**Кузнецова Ольга Юрієвна** – кандидат технічних наук, доцент, старший викладач кафедри експлуатації машинно-тракторного парку, Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет (вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49600, Україна).

**Kuznetsova Olga** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, senior lecturer Department Operating Tractor Fleet, Dniprovskii State Agrarian and Economic University (25 Sergey Efremov Str., 49600 Dnipro, Ukraine).

**E-mail:** juko@3g.ua

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.518.3:504.064.3:004.94

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-89-98

*Віталій Зацерковний, Марина Комар, Людмила Плічко, Сергій Кривоберець*  
**ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ  
І ПРОГНОЗУВАННЯ ПОВЕНЕЙ**

*Актуальність теми дослідження.* Активізація в останні роки в Україні екзогенних геологічних процесів в силу різних природних і антропогенних процесів є дійсно загрозою – постає питання прогнозування і моделювання їх виникнення.

*Постановка проблеми.* У житті людства значне місце займають проблеми, зв'язані з подоланням наслідків дії НС, особливо повеней, катастрофічних затоплень і підтоплень територій, які є однією з основних соціально-екологічних проблем.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Дослідженнями питань наводків, повеней і пошуку оптимальних методик моделювання рельєфу, подання його структури з іншими географічними елементами та процесами, займає ряд науковців.

*Виділення не досліджених частин загальної проблеми.* На сьогодні доцільніше витратити кошти на створення систем моніторингу, прогнозування та профілактичні протиповіневі заходи, ніж на ліквідацію їх наслідків.

*Мета статті.* Є обґрунтування шляхів моделювання і прогнозування розвитку наводків для послаблення їхнього впливу за допомогою геоінформаційних технологій.

*Виклад основного матеріалу.* Для забезпечення умов проживання населення на території, що потерпає від повеней та підвищення рівня її екологічної безпеки необхідно вчасно визначити масштаби впливу затоплення, а найскладнішою проблемою, пов'язаною з вивченням повеней, є прогнозування максимально можливих величин підняття рівня її площі затоплених земель. Оскільки можливості ГІС у моделюванні, управлінні і об'єднанні просторової інформації роблять геоінформаційні системи потужним аналітичним інструментом – для побудови моделі затоплення Київської області використовувався програмний продукт ArcGIS.

*Висновки і пропозиції.* Використання ArcGIS в алгоритмах моделей геообробки для розв'язання задач прогнозування затоплень, може використовуватись як швидкодіючий і наочний експрес-аналіз.

*Ключові слова:* геоінформаційні технології; моделювання; прогнозування; повені; ArcGIS.

**Постановка проблеми.** У житті сучасного людського суспільства значне місце посідають проблеми, пов'язані з подоланням наслідків дії надзвичайних ситуацій (НС), з подоланням кризових явищ, що призводять до людських втрат і величезних матеріальних збитків. Серед багатьох НС природного та техногенного походження особливе місце належить повеням, катастрофічним затопленням і підтопленням територій, які є однією з основних соціально-екологічних проблем сучасності.

Повені доставляють людському суспільству проблеми з найдавніших часів, проте сьогодні їх частота і розміри нанесеного ними збитку стрімко зростають.

Підтоплення – сучасний геологічний екзогенний процес, що відноситься до найбільш небезпечних для життєдіяльності людини, що має просторове розповсюдження, з ним пов'язані небезпечні процеси – зсуви, карст, просідання та осідання земної поверхні, зміна сольового стану, загальної та сейсмічної стійкості ґрунтів зони аерації.

Прояви аномальних гідрометеорологічних явищ останніх років (інтенсивна сонячна активність, зміни кількості атмосферних опадів, інтенсивні повені тощо) суттєво вплинули на стан геологічного середовища, що піддається впливу підтоплення. Незбалансована та безсистемна господарська діяльність на територіях розвитку природних екзогенних геологічних процесів (ЕГП) та їх залучення у сферу господарської діяльності створює реальні передумови для активного розвитку цих процесів та неминучих змін навколишнього середовища.

В останні десятиліття активізація ЕГП, що відбуваються на території України у зв'язку з глобальними змінами клімату, настанням циклічних періодів збільшення кількості опадів та підняттям рівнів підземних вод, надмірною зарегульованістю річок водосховищами та ставками, незадовільним функціонуванням або відсутністю у населених пунктах зливової каналізації, дренажу та інших систем водовідведення,

неконтрольованим зрошенням присадибних ділянок тощо, стає реальною загрозою населенню й об'єктам господарювання, а отже, гостро постає потреба у своєчасному прогнозуванні їх виникнення, спрямованому на запобігання людських втрат і зменшення збитків, що ними наносяться.

В Україні негативні наслідки від повеней і підтоплень проявляються на 27 % території (165 тис. км<sup>2</sup>), де проживає майже третина усього населення. Практично не існує жодної території держави, де б не відчувався час від часу негативний вплив паводків і повеней [1].

Оскільки інформація про повені і підтоплення має просторову основу, то цілком зрозуміло, що інформаційною основою для задач моделювання і прогнозування повинна виступити геоінформаційна технологія, яка дозволяє розв'язувати задачі накопичення, збереження, оновлення й аналізу гідрологічної, гідрогеологічної і інженерно-геологічної інформації [2].

**Аналіз попередніх досліджень.** На сучасному етапі активно розвиваються дослідження вітчизняних учених, що відображено в роботах Я. О. Адаменка, Т. М. Безверхнюка, Л. Ф. Білоус, О. І. Бондаря, О. С. Волошкіної, А. І. Горової, Л. Д. Грекова, В. М. Гуцуляка, О. В. Диняк, П. С. Іванова, Ф. Я. Кіпгача, М. О. Клименка, О. І. Клапоущака, І. П. Ковальчука, О. Є. Кошлякова, Г. Я. Красовського, М. С. Мальованого, Л. В. Міщенко, В. Г. Петрука, Л. Д. Пляцука, Г. І. Рудька, Я. М. Семчука, Т. А. Сафранова, О. М. Трофимчука, Б. А. Шелудченка, В. М. Шмандія, Є. О. Яковлева та багатьох інших, а також зарубіжних науковців Darnley A. Y., Yore A., Kloke A., Mann R. F., Ngjagu I. O., Pedro Y., Tornton I. so on.

Питання, пов'язані з паводковими явищами у західних регіонах та закономірностями їх поширення, причинами їх виникнення та повторюваності, розглядали такі науковці, як М. М. Сусідко, В. С. Олійник, С. М. Перехрест, О. О. Іщук [3] та ін.

Проблеми пошуків оптимальних методик математичного моделювання рельєфу, подання його структури з іншими географічними елементами та процесами досліджували у різні роки багато вчених. Зокрема, типи рельєфу та їх класифікацію проаналізував А. В. Бойко. Автоматизацію визначення структурних ліній із врахуванням геоморфології рельєфу досліджував Р. М. Рудий. Теоретичні і практичні аспекти цифрового моделювання рельєфу (ЦМР) висвітлені у працях О. М. Лобанова, В. Я. Фінковського, О. Л. Дорожинського. Детальному аналізу точності ЦМР, створених картометричним і фотограмметричним методами, присвячені праці Х. В. Бурштинської [4]. Алгоритми цифрового моделювання та методи апроксимацій поверхонь представлені у працях К. Крауса, Р. Фінстервальдера та ін. Н. Маркус успішно розв'язав практичні задачі цифрового моделювання рельєфу. За цей час створено десятки методів математичного моделювання рельєфу, розроблено класифікації ЦМР залежно від способів апроксимації рельєфу, розміщення вихідних точок моделі, способів підготовки вихідної інформації. Для апроксимації використовуються різні функції: алгебраїчні поліноми, ортогональні поліноми Ньютона, мультіквадрикові функції, сплайн-функції, ряди Фур'є тощо.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Як свідчить багаторічний досвід, без урахування даних прогнозування надзвичайних ситуацій (НС) неможливо планувати розвиток територій, приймати рішення щодо будівництва промислових і соціальних об'єктів, розробляти програми і плани з попередження та ліквідації можливих НС.

Особливістю паводків, як і деяких інших стихійних лих природного характеру, є те, що їх неможливо уникнути, однак їхній вплив можна послабити, локалізувати і при завчасному попередженні осіб, що приймають рішення (ОПР), і широких верств населення звести до мінімуму матеріальні втрати. Це досягається передусім за допомогою оперативного моніторингу і прогнозуванням паводкової ситуації, будівництвом та зміцненням

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

водозахисних дамб, прийняттям ефективних організаційно-рішень, своєчасного оповіщення населення і керівництва регіонів про можливість і масштаби повені тощо.

При цьому, як свідчить досвід зарубіжних країн боротьби з повенями і паводками, доцільніше витратити фінансові ресурси на створення ефективної системи моніторингу, системи прогнозування та профілактичні протиповеневі заходи, ніж на ліквідацію їхніх наслідків.

**Метою статті** є наукове обґрунтування шляхів моделювання і прогнозування розвитку паводків для послаблення їхнього впливу за допомогою геоінформаційних технологій та показ можливостей та основних напрямків застосування геоінформаційного моделювання, підвищення рівня оперативності при прогнозуванні та візуалізації затоплення територій.

**Об'єкт дослідження** – процес моделювання зон затоплення територій.

**Виклад основного матеріалу.** Для забезпечення відповідних умов проживання населення на територіях, що потерпають від повеней та підвищення рівня екологічної безпеки цих територій, необхідно вчасно визначити масштаби впливу процесів затоплення, що надає можливість швидкого реагування на них шляхом прийняття відповідних управлінських рішень.

Повінь – тимчасове значне затоплення значної частини суші водою в результаті підняття рівня води у річці, озері, водосховищі або морі, спричинене зливами, таненням снігу, вітровим нагоном води, руйнуванням дамб тощо, яке спричиняє великі матеріальні збитки та людські жертви.

Однією з найскладніших проблем гідрології, пов'язаних з вивченням повеней, є прогнозування максимально можливих величин підняття рівня та площі затоплюваних земель, оскільки від того наскільки правильно буде визначений можливий максимальний рівень води, залежить масштаб наслідків, а розмір збитку визначається зворотною залежністю від процентної забезпеченості повені. При визначенні ефективності регулювання повеневого стоку за граничну розрахункову площу приймають ту територію, яка затоплюється повинню 1 %-ї забезпеченості. Однак не менший інтерес становить аналіз імовірних наслідків і збитку при проходженні повеней 5 %, 10 % і 25 %-ї забезпеченості.

Залежно від причин повені природного характеру поділяють на:

– повені, зумовлені випаданням сильних опадів або інтенсивним таненням снігу (льодовиків) у її басейні річки;

– повені, що виникають внаслідок поєднання паводкових вод з льодоходом. Льодохід часто супроводжується заторами (нагромадження льоду в руслі ріки) або зажерами (скупчення внутрішньоводного льоду, що утворює льодяну пробку), які зумовлюють додатковий підйом води і затоплення нових територій. У разі прориву водою перешкоди може утворитися навальна хвиля, що створює небезпеку затоплення території, розташованої нижче за течією. Затори найчастіше утворюються на ріках, що течуть із півдня на північ, оскільки південні ділянки ріки звільняються від льоду раніше, ніж північні, і льодохід, що розпочався, зустрічає на своєму шляху перешкоду у вигляді льодоставу. Зажери утворюються у передльодоставний період і, за наявності незамерзаючих ділянок ріки, протягом зими;

– повені, що виникають під дією нагонного вітру. Вони спостерігаються на морських узбережжях і на гирлових ділянках рік, що впадають у море. Нагонне повітря затримує воду в гирлі, внаслідок чого підвищується її рівень у річці. Повені такого типу спостерігались у дельті Неви в Росії, в Голландії, Великій Британії, Німеччині та в інших регіонах земної кулі. Класичним прикладом такого типу повеней є повені в Санкт-Петербурзі (за час існування міста їх було понад 300). За своїми наслідками вони наближалися до найбільших повеней і цунамі;

– підтоплення. Причинами підтоплення є підвищення рівня ґрунтових вод унаслідок сильних опадів і несправності дренажних систем. Однією з причин підтоплення земель

є гідротехнічне будівництво, що може призвести до перерозподілу річкового стоку та перекриття природних шляхів дренажу ґрунтових вод;

– гідрологічне стихійне лихо, викликане цунамі, теж розглядається як різновид повеней, хоч і має причини тектонічного характеру.

У режимі рік зазвичай виділяють водопілля, повінь і межень. Під водопіллям розуміють щорічно повторюваний в той самий сезон значний і доволі тривалий підйом рівня води у річці. Здебільшого водопілля викликається таненням снігу на рівнинах і дощовими опадами і відбувається весною. У гірських районах виділяють весняно-літнє водопілля, пов'язане з таненням снігу і льодовиків у високогірних областях і випаданням опадів. Повінь – це інтенсивний, порівняно короткочасний підйом рівня води, який спричинений дощами і зливами, іноді таненням снігу при зимових відлигах. Меженню називають період низької водності річок, що встановлюється в зимовий і літньо-осінній сезони, тому розрізняють зимню і літньо-осінню межень. У період водопілля і повеней рівень води в річках досягає найвищого значення, яке називається максимальним рівнем води в період водопілля або повені. Дані про максимальні рівні і витрати води за рік узагальнюються, оскільки вони мають найбільше значення при дослідженні повеней і організації боротьби з ними. Саме максимальний рівень визначає площу і глибину затоплень прибережних територій. Дані про максимальні рівні води використовуються при проектуванні гідротехнічних споруд, а також житлових у господарських об'єктів, розташованих у прибережній зоні.

Для прогнозування і моделювання повені у тому чи іншому населеному пункті або області важливо враховувати загальну характеристику місця розташування, геологічних процесів, клімату, гідрографічної сітки та, звичайно, впливу антропогенних процесів на це явище [3].

Ключовими перевагами ГІС є: значне полегшення прийняття обґрунтованих рішень (автоматизація процесу аналізу та розробки звітів про будь-які явища, що пов'язані з просторовими даними, допомагає прискорити та підвищити ефективність процедури прийняття рішень); зручне для користувача відображення просторових даних (картографування просторових даних, у тому числі у тривимірному вигляді, у як найбільш зручному для сприйняття варіанті спрощує формування запитів та їх наступний аналіз); широка інтеграція даних усередині організації (геоінформаційні системи поєднують дані, накопичені в різних підрозділах органу публічного управління, або навіть у різних напрямках діяльності організацій цілого регіону. Колективне використання накопичених даних та їх інтеграція в єдиний інформаційний масив дає важливі конкурентні переваги та підвищує ефективність експлуатації геоінформаційних систем). ГІС можна використовувати для прогнозування різних явищ і процесів [5].

Розрахунок геометричних параметрів рельєфу передбачає обчислення об'єму його форм і площі реальної поверхні, а також площі проекції рельєфу на площину. До морфометричних параметрів рельєфу прийнято відносити кути нахилу і експозицію схилів, плану та профільну кривизну поверхні. Гідрологічні параметри включають в себе напрямки, лінії і акумуляцію стоку, а також річкову мережу і водозбірні басейни [4].

До інших параметрів рельєфу можна віднести параметри видимості: взаємну видимість двох точок і панорамний огляд з однієї точки. Гідрологічні властивості рельєфу можуть успішно застосовуватись у багатьох дослідженнях, орієнтованих як на господарське освоєння водних ресурсів, так і на прогноз негативних наслідків від їх використання. У зв'язку з цим особливу роль при обробці ЦМР засобами геоінформаційних технологій (ГІТ) відіграє геоінформаційне моделювання (ГІМ) гідрографічної мережі, водозбірних басейнів і територій затоплення. Створювані моделі у свою чергу дають необхідну основу для побудови більш складних карт: повеней і екологічної загрози гірських водосховищ.



ГІМ річкових басейнів – найбільш затребувана сфера практичного застосування ЦМР. Без нього в останній час не обходиться жодне гідрологічне і геоморфологічне дослідження.

Можливості ГІС щодо моделювання, управління та об'єднання просторової інформації роблять геоінформаційні системи потужним аналітичним інструментом. Моделювання зон затоплення за допомогою ГІТ дозволяє адміністративним територіальним органам і підрозділам МНС, що займаються прогнозом надзвичайних ситуацій і ліквідацією їх наслідків, виконувати задачі [2]:

- створювати банки цифрової просторової інформації на райони, найбільш схильні до природних і техногенних впливів; застосовувати їх для моделювання, прогнозування й оповіщення населення про можливі наслідки НС;

- створювати банки цифрової просторової інформації на окремі ділянки місцевості, на яких розташовані найбільш загрозові з погляду НС об'єкти (греблі, газонафтохосовища, хімічні підприємства).

Київська область розташована в середній течії річки Дніпра, в зоні Полісся й Лісостепу. Площа області – 28 131 км<sup>2</sup> (восьма за цим показником в Україні). На заході вона межує з Житомирською, на південному заході – з Вінницькою, на сході – з Чернігівською і Полтавською, на півдні – з Черкаською областями України, а на півночі – з Гомельською областю Білорусі.

Утворена 27 лютого 1932 року. В області нараховується 25 районів, 24 міст, у тому числі 12 обласного значення, 30 селищ міського типу, загалом 1127 населених пунктів.

Поверхня області – горбиста рівнина із загальним нахилом до долини Дніпра. За характером рельєфу поділяється на три частини. Північна частина зайнята Поліською низовиною (висота до 198 м). Лівобережжя займає Придніпровська низовина з розвиненими річковими долинами. Південно-західна частина зайнята Придніпровською височиною – найбільш розчленованою і припіднятою частиною області з абсолютними висотами до 273 м [1].

Клімат Київщини – помірно-континентальний, м'який, з достатнім зволоженням. Середня річна температура, за даними багаторічних спостережень, становить +7,2 °С. Пересічна температура найтеплішого місяця (липня) +19,5 °С, а найхолоднішого (січня) –6 °С. Опадів випадає в середньому 500–600 мм за рік, а найбільша їх кількість припадає на червень–липень. Осінь часто буває тепла й суха. Для літа характерна велика кількість сонячних днів і вегетаційний період тривалістю 198–204 дні [6].

Київщина має густу річкову мережу (177 річок завдовжки понад 10 км). Найважливіша водна артерія – Дніпро (довжина його в межах області – 246 км), його головні притоки – Прип'ять, Тетерів, Ірпінь, Рось (праві); Десна і Трубіж (ліві). На території області – Київське водосховище і частина Канівського водосховища (створені на Дніпрі). Усього в області – 13 водосховищ і понад 2000 озер [6].

Побудована авторами електронна карта Київської області за даними [6], представлена на рис. 1.

Київська область розташована у двох зонах, тому повені на цій території мають деякі відмінності.

У зоні мішаних лісів водний режим річок характеризується тривалою повінню та порівняно рідкими літніми й осінніми паводками.

Повінь розпочинається в першій половині березня і закінчується наприкінці квітня. Максимальна витрата весняної повені буває наприкінці березня – на початку квітня. Повінь триває 50–100 діб. Шар стоку повені становить 40–80 мм, або майже 55 % річного стоку. Модуль максимального стоку повені становить 50–200 л/с·км<sup>2</sup> [7].



Рис. 1. Адміністративна карта Київської області



Рис. 2. Карта паводків і водопілля Київської області

Межень тривала, літня – низька, зимова – середня за водністю. Середні місячні модулі стоку становлять близько  $0,8 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ . Зимова межень внаслідок частих відлиг значно вища від літньої. Об'єм літньо-осіннього стоку становить близько 25 %, зимового – близько 20 % річного стоку. Тривалість льодоставу сягає 100 діб, але за останні 20–25 років, у зв'язку зі змінами кліматичних умов, ця величина набагато менша [7].

Багаторічний водний баланс цієї зони, порівняно з іншими, має вищі значення складових: опади становлять 690 мм, стік – 110 мм, поверхневе випаровування разом з інфільтрацією – 580 мм [7].

У лісостеповій зоні водний режим характеризується весняною повінню, переважно літніми, а також осінніми та рідше зимовими паводками. Повінь починається з кінця лютого або першої половини березня. Максимум відмічається у середині березня або на початку квітня. Тривалість повені становить у середньому 50 діб. У маловодні роки на річках цієї зони повені взагалі не буває. Шари стоку повені коливаються від 10 до 90 мм. Навесні формується близько 65 % річного стоку [7].

Літні та осінні паводки спостерігаються переважно на річках з площами водозборів до 10 тис.  $\text{км}^2$ , а зимові – на всіх річках зони. Найбільша кількість паводків за рік сягає десяти. Максимальні модулі стоку літніх і осінніх паводків не перевищують  $100\text{--}166 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  [7].

Меженний період тривалий – з травня по листопад. Модулі стоку літньо-осінньої і зимової меженей приблизно одного рівня –  $0,3 \text{ л/с}$ . У літньо-осінній період стікає 25–40 % річного стоку, а взимку – 10–15 %. Пересихання й перемерзання спостерігаються на річках із площами водозборів до 15 тис.  $\text{км}^2$  [7].

Водний баланс за багаторічний період усієї лісостепової зони мало відрізняється від балансу Полісся. Опади тут становлять 635 мм, а стік – 85 мм, поверхневе випаровування разом з інфільтрацією – 550 мм [7].

Незважаючи на позитивні сторони досить великої мережі водних об'єктів, саме річки є представниками руйнівного природного явища. Оскільки на території Київської області створено два великі водосховища (Київське і Канівське), тому ризик значної кількості підтоплених території усунуто. Однак розливи річок є досить серйозною загрозою населенню, оскільки рівень підняття води може сягати більше 5 метрів (рис. 2).

Інвентаризація небезпечних з погляду екстремальних ситуацій антропогенних і природних об'єктів важлива для урахування можливого небезпечного впливу таких об'єктів при пошуку місць розміщення нових об'єктів, чутливих до їх впливу. Так, на-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

приклад, знання зон і рівнів затоплення вздовж річки дозволяє уникати будівництва на затоплюваних ділянках. І йдеться не тільки про ділянки заплави, що піддаються щорічному затопленню, але й більш широким зонах, імовірність затоплення яких є незначною, наприклад, раз в 10 або 100 років [5].

Побудова прогнозної моделі зони затоплення включає в себе декілька етапів (рис. 3).

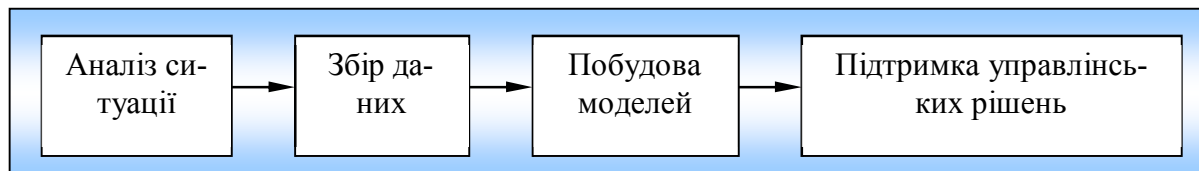


Рис. 3. Узагальнена схема побудови прогнозних моделей

Оскільки величина зони затоплення залежить від двох змінних – рельєфу і гідрологічних показників водного об'єкта, то на першому етапі важливо провести аналіз рельєфу досліджуваної території. На другому етапі для моделювання зони затоплення необхідно мати дані про основні гідрологічні показники досліджуваного водотоку (режим, витрати, рівень води тощо), після чого виконується розрахунок параметрів моделі. Третім етапом є безпосереднє моделювання за отриманими розрахунковими даними. Заключна частина роботи являє собою аналіз моделі зони можливого затоплення і виявлення наслідків підйому рівня води.

Робота з моделювання зони затоплення починається з побудови цифрової моделі місцевості, під якою розуміється сукупність різних шарів цифрової картографічної інформації на об'єкт моделювання.

Для побудови моделі затоплення Київської області використовувався програмний продукт ArcGIS з програмами ArcCatalog, ArcMap та ArcScene.

Першим етапом був підбір вхідних даних, для відображення всієї області одразу і побудови рельєфу за горизонталями, тому базовий масштаб топографічної карти становить 1 : 3 000 000. Оскільки метою моделювання є відтворення загальної картини підйому рівня води під час повені, а не конкретний аналіз певної річки.

Загальний вигляд оцифрованої території представлений на рис. 4. з виділенням для наочності кордоном, горизонталями та водними об'єктами. У середовищі ArcMap для топографічної карти Київської області була визначена картографічна проекція, необхідна для просторової прив'язки карти і подальшого цифрування. Оскільки для редагування зображення цієї території, необхідним є створення додаткових шарів, то була задіяна програма ArcCatalog, де зберігалися шейп-файли додаткових тематичних шарів.

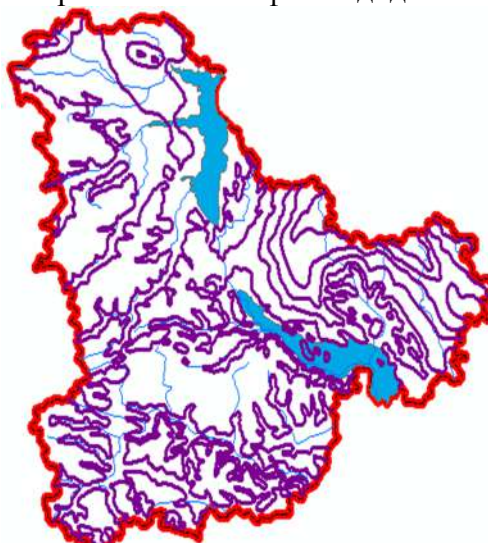


Рис. 4. Оцифрована карта Київської області

Наступним етапом моделювання було створення TIN-моделі рельєфу. Оскільки рельєф є дуже важливим чинником для правильного прогнозування розливу річок, до для прогнозування використовувався спеціальний модуль Інструменти 3D Analyst (рис. 5, 6).

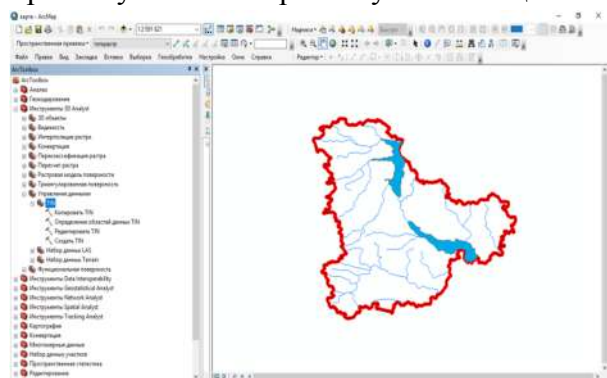


Рис. 5 Середовище ArcMap

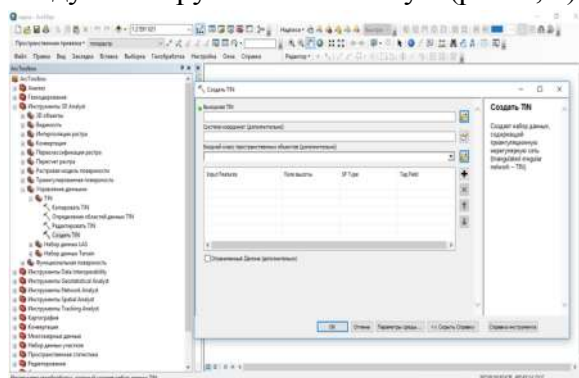


Рис. 6. Вікно створення TIN

Важливим компонентом моделювання є занесення даних в атрибутивні таблиці шарів їх висот і глибин для правильної побудови, оскільки без них програма буде працювати некоректно (з помилками). Готовий результат представлений на рис. 7.

Наступним етапом була робота в середовищі ArcScene, для створення 3D моделі розливу річок у Київській області.

Додаткові дані вносились лише в таблиці атрибутивних даних річок, оскільки водосховища захищені спеціальними спорудами – дамбами, тому вони не являються повенебезпечними об'єктами.

Модель Київської області з водними об'єктами та рівнем підняття води у них представлена відповідно на рис. 8 та рис. 9.

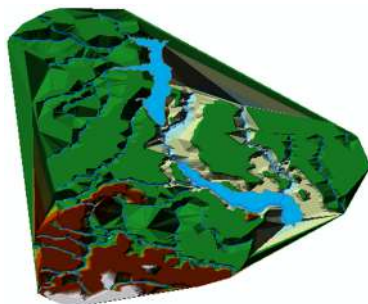


Рис. 7. TIN-поверхня Київської області

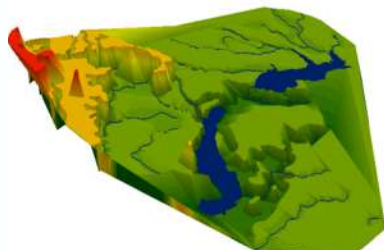


Рис. 8. 3D модель Київської області

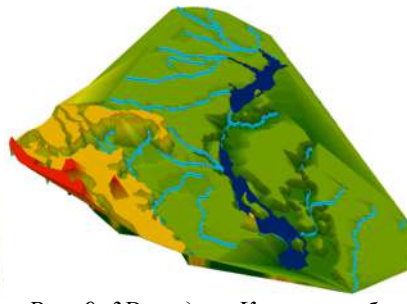


Рис. 9. 3D-модель Київської області з умовно змодельованими розливами річок

На рис. 9 світло-блакитним кольором показано межі розливу річки під час паводків або водопілля.

**Висновки.** Використання програмного забезпечення ArcGIS в алгоритмах моделей геообробки для розв'язання задач прогнозування затоплень може використовуватись як швидкодіючий і наочний експрес-аналіз [8].

Електронна карта з тематичними шарами зон затоплення дозволяє:

- оцінювати повеневу ситуацію в період високої забезпеченості повеней;
- органам місцевого самоврядування приймати ефективні управлінські рішення щодо проведення випереджувальних протиповневих заходів.

#### Список використаних джерел

1. Про затвердження Комплексної програми захисту сільських населених пунктів і сільськогосподарських угідь від шкідливої дії вод на період до 2010 року та прогноз до 2020 року : Постанова Кабінету Міністрів України від 03.07.2006 р. № 901.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. *Геоінформаційні системи в науках про Землю* / В. І. Зацерковний, І. В. Тішаєв, І. В. Віршило, В. К. Демидов. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2016. – 510 с.
3. *Бурштинська Х. В.* Використання ГІС-технологій для визначення динаміки гідрологічних змін рік / Х. В. Бурштинська // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів : Ліга-прес, 2003. – С. 205–210.
4. *Ищук О. О.* Прогнозування й оцінка наслідків екстремальних повеневих ситуацій засобами просторового аналізу ГІС / О. О. Ищук, Є. С. Середінін // *Вісник геодезії та картографії*. – 2000. – № 2. – С. 37–42.
5. *Геоінформаційний аналіз просторових даних* / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.
6. *Київська область* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://uk.wikipedia.org/wiki/Київська\\_область](https://uk.wikipedia.org/wiki/Київська_область).
7. *Національний атлас України* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.igna.org.ua/maps\\_elektron.html](http://www.igna.org.ua/maps_elektron.html).
8. *Зацерковний В. І.* Моделювання підтоплень територій населених пунктів за допомогою ГІТ / В. І. Зацерковний, М. Д. Богославський // *Вісник астрономічної школи*. – 2016. – Т. 12, № 1. – С. 38–43.

## References

1. *Pro zatverdzhennia Kompleksnoi prohramy zakhystu silskykh naselenykh punktiv i silskohospodarskykh uhid vid shkidlyvoi dii vod na period do 2010 roku ta prohnaz do 2020 roku: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 03.07.2006 r. № 901 [On approval of the Comprehensive Program for the protection of villages and agricultural land from the harmful effects of waters until 2010 and Forecast till 2020: Resolution of Cabinet of Ministers of Ukraine on July 3, 2006 № 901].*
2. Zatserkovnyi, V.I. Tishaiev, I.V., Virshylo, I.V., Demydov, V.K. (2016). *Heoinformatsiini systemy v nauках pro Zemliu [GIS in Earth sciences]*. Nizhyn: NDU im. M. Hoholia (in Ukrainian).
3. Burshtynska, Kh.V. (2003). *Vykorystannia HIS-tekhnohohii dlia vyznachennia dynamiky hidrohlohichnykh zmin rik [The use of GIS technology to determine the dynamics of hydrological changes in rivers]. Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Recent advances in geodetic science and industry*. Lviv: Liha-pres, pp. 205–210 (in Ukrainian).
4. Ishchuk, O.O., Seredinin, Ye.S. (2000). *Prohnazuvannia y otsinka naslidkiv ekstremalnykh povenevykh sytuatsii zasobamy prostorovoho analizu HIS [Prediction and assessment of the impact of extreme flood situations by means of GIS spatial analysis]. Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography*, no. 2, pp. 37–42 (in Ukrainian).
5. Zatserkovnyi, V.I. Burachek, V.H., Zhelezniak, O.O., Tereshchenko, A.O. (2017). *Heoinformatsiyni analiz prostorovykh danykh [Geoinformation analysis of spatial data]*. Nizhyn: NDU im. M.Hoholia (in Ukrainian).
6. *Kyivska oblast [Kiev region]*. Retrieved from [https://uk.wikipedia.org/wiki/Kyivska\\_oblast](https://uk.wikipedia.org/wiki/Kyivska_oblast).
7. *Natsionalnyi atlas Ukrainy [National Atlas of Ukraine]*. Retrieved from [http://www.igna.org.ua/maps\\_elektron.html](http://www.igna.org.ua/maps_elektron.html).
8. Zatserkovnyi, V.I., Bohoslavskiy, M.D. (2016). *Modeliuvannia pidtoplen terytorii naselenykh punktiv za dopomohoiu HIT [Simulation of flooded areas settlements using GIT]. Visnyk astronomichnoi shkoly – Bulletin astronomical school*, vol. 12, no. 1, pp. 38–43 (in Ukrainian).

*Vitalii Zatserkovnyi, Maryna Komar, Liudmyla Plichko, Serhiy Kryvoberets*

### GIS TECHNOLOGIES IN PROBLEMS OF MODELING AND FORECASTING FLOODS

**Urgency of the research.** *The activation of exogenous geological processes in Ukraine in recent years due to various natural and anthropogenic processes is indeed a threat that raises the question of forecasting and modeling their occurrence.*

**Target setting.** *In the life of mankind such problems occupy a significant place. These are problems connected with overcoming the consequences of the action of emergency, especially floods, catastrophic flooding and flooding of territories, which are one of the major socio-ecological problems.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Studies of floods issues, floods and searching for optimal techniques for modeling the relief, representing its structure with other geographic elements and processes, have been studied by a number of scientists*



**Uninvestigated parts of general matters defining.** Today it is more appropriate to spend money on the creation of monitoring systems, forecasting and flood prevention measures, rather than to eliminate their consequences.

**The research objective.** The purpose of the article is to justify ways of modeling and forecasting the development of floods to reduce their impact through geoinformation technologies.

**The statement of basic materials.** To ensure the living conditions of the population in the territory that affected by floods and increasing its ecological safety, it is necessary to determine the extent of flooding in a timely manner. The most difficult problem associated with flood research is the forecasting of the maximum possible values for raising the level and area of flooded land.

Since the capabilities of GIS in modeling, managing and integrating spatial information make geoinformation systems a powerful analytical tool to build the floods model of the Kiev region was used ArcGIS software product.

**Conclusion.** Using ArcGIS in the algorithms of geoprocessing models to solve problems of flood forecasting can be used as a fast and visual express analysis.

**Key words:** gis technologies, modeling, forecasting, flood, ArcGIS.

*Зацерковный Виталий, Марина Комар, Людмила Пличко, Сергей Кривоберец*

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВОДНЕНИЙ

Представлено научное обоснование путей моделирования и прогнозирования развития паводков для ослабления их влияния с помощью геоинформационных технологий. Показаны возможности и основные направления применения геоинформационного моделирования и повышения уровня оперативности при прогнозировании и визуализации затопления территорий.

Описано использования программного обеспечения ArcGIS в алгоритмах моделей геообработки для решения задач прогнозирования затоплений, как инструмента быстрогодействующего и наглядного экспресс-анализа.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии; моделирование; прогнозирование; наводнения; ArcGIS.

**Зацерковний Віталій Іванович** – доктор технічних наук, завідувач кафедри геоінформатики, Київський національний університет ім. Тараса Шевченка (вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна).

**Зацерковный Виталий Иванович** – доктор технических наук, заведующий кафедрой геоинформатики, Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко (ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина).

**Vitalii Zatserkovnyi** – Doctor of Technical Sciences, Head Department of Geoinformatics, Taras Shevchenko National University of Kyiv (90 Vasykivska Str., 03022 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2346-9496>

**Комар Марина Вячеславівна** – бакалавр, Національний авіаційний університет (проспект Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 03680, Україна).

**Комар Марина Вячеславовна** – бакалавр, Национальный авиационный университет (проспект Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 03680, Украина).

**Maryna Komar** – bachelor, National Aviation University (1 Cosmonaut Komarov Av., 03680 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** marysichka.1406@ukr.net

**Пличко Людмила Володимирівна** – керівник гуртка, Куликівський районний центр позашкільної освіти (вул. Шевченка, 4-а, смт. Куликівка, Чернігівської області, 16300, Україна)

**Пличко Людмила Владимировна** – руководитель кружка, Куликовский районный центр внешкольного образования (ул. Шевченка, 4-а, пгт. Куликовка, Черниговской области, 16300, Украина)

**Liudmyla Plichko** – club tutor, Centre after school study of Kulikovka district (4A Shevchenko Str., 16300 Kulikovka, Chernihiv region, Ukraine).

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

**Кривоберець Сергій Володимирович** – викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Кривоберец Сергей Владимирович** – преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Serhiy Kryvoberets** – lecturer of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2193-1096>

**ResearcherID:** <http://www.researcherid.com/rid/N-2859-2016>

*Віталій Литвинов, Ігор Скітер, Олена Трунова, Едуард Сідін*

## МОДИФІКАЦІЯ МЕТОДИКИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛІЗУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ АНОМАЛІЙ У ТРАФІКУ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ

**Актуальність проблеми.** Надійна передача даних у мережі повинна базуватись на використанні адекватних методів виявлення аномалій мережевого трафіку. Кількісний аналіз мережі на основі використання статистичного підходу базується на аналізі масивів даних у вигляді динамічних рядів. Для ефективного використання методів вейвлет-аналізу необхідне удосконалення методичного забезпечення аналізу трафіку комп'ютерної мережі.

**Постановка проблеми.** Методи вейвлет-аналізу є перспективними для виявлення аномальної поведінки мережевого трафіку, так як вони базуються на декомпозиції трафіку як динамічного ряду. При цьому існують проблеми вибору відповідних масштабуючих вейвлет-функцій, способів визначення коефіцієнтів деталізації, їх трактовки та перевірки гіпотез про аномальність поведінки трафіку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Роботи, присвячені статистичним методам та технологіям аналізу та виявлення аномалій включають в себе алгоритми оцінки аномальності трафіку за такими показниками як: помилки першого роду, помилки другого роду, кількість правильно виявлених аномалій.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Використання алгоритмів вейвлет-аналізу пов'язане з їх складністю та ресурсоемністю, труднощами виявлення помилок другого роду. Крім того, є питання вибору максимально адекватної масштабуючої функції та необхідність трактовки апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів, які утворюють окрему статистичну вибірку.

**Мета дослідження.** In this paper, classification of mobile applications was presented alongside with technologies, which can be used for development of mobile applications. Метою є використання ряду Фур'є в якості масштабуючої функції при вейвлет-аналізі трафіку; побудова ідеалізованого профілю мережі та оцінка аномальності поведінки трафіку; аналіз коефіцієнтів деталізації як окремої статистичної вибірки.

**Виклад основного матеріалу.** Проведений аналіз трафіку з використанням, як масштабуючої, функції Фур'є дав змогу отримати в явному вигляді амплітуди та початкові фази гармонічних компонент. Це дало можливість проводити порівняння «ідеального профілю» трафіку з реальним. Попередні висновки про наявність аномалій проводяться за зонами, в яких спостерігається перевищення змодельованого трафіку над реальним. Різка зміна абсолютного значення деталізуючих коефіцієнтів у аналізованих вікнах трафіку також може трактуватися як аномалія трафіку.

**Висновки.** Пропонована модифікація методики вейвлет-аналізу дає значне скорочення ресурсоемності аналізу трафіку мережі. Використання ряду Фур'є дає змогу виявляти тренди та циклічні складові в трафіку, виявляти зони аномальності. Отримані апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти, можуть бути використані в якості характеристик аномальності трафіку при аналізі їх зміни.

**Ключові слова:** вейвлет-аналіз; апроксимуюча функція; ряд Фур'є; деталізуючі коефіцієнти; профіль мережі; аномалії.

**Постановка проблеми.** Аномалії трафіку в комп'ютерній мережі мають різні причини і можуть бути пов'язані з діяльністю хакерів, некомпетентних користувачів, несправністю апаратури і дефектами програмного забезпечення. Існують видимі аномалії, які проявляються безпосередньо в некоректній роботі інформаційно-обчислювальної системи. Аномалії можуть і не мати видимих ознак, але привести до збоїв через тривалий час.

Аналіз аномалій дозволяє виявляти суттєві відхилення трафіку мережевих пристроїв від «нормального» профілю трафіку для цього пристрою або групи пристроїв. Як правило, шаблон «нормального» трафіку мережі складається протягом певного проміжку часу на основі статистичних даних та навчальної вибірки.

Аналіз показує, що для виявлення аномалій здебільшого достатньо аналізувати основні параметри трафіку і немає необхідності вивчати вміст кожного пакета. Прикладами аномалій, виявлених на основі аналізу трафіку, є раптове збільшення інтенсивності трафіку від робочої станції або зміна структури трафіку в порівнянні зі звичайними щоденними показниками для цієї мережі або пристрою.

Застосовувані у разі виявлення та запобігання мережевих аномалій методи зводяться до аналізу сигнатур [1] та аналізу трафіку статистичними методами [2].

Аналіз сигнатур базується на понятті збігу послідовності зі зразком. Системи аналізу сигнатур [1] мають високу швидкість, на відміну від систем аналізу протоколів. Суттєвою проблемою використання методу аналізу сигнатур полягає в тому, що швидкість аналізу з часом зменшується зі збільшенням кількості перевірених сигнатур, чисельність яких може значно зростати у процесі аналізу трафіку. Крім того, список перевіре-

них сигнатур під час здійснення вторгнень чи атак нового типу різко збільшується. Тому застосування для аналізу трафіку в режимі реального часу методів аналізу сигнатур має низьку ефективність щодо своєчасного виявлення атак, неможливість самостійного виявлення нових атак і постійна необхідність оновлення бази сигнатур.

Статистичний аналіз базується на основі динамічних рядів даних про параметри трафіку мережі. Основним поняттям аналізу трафіку є визначення профілю для всіх суб'єктів аналізованої системи, як аналог еталонної поведінки мережі за відсутності аномалій, вторгнень, атак. Будь-яке відхилення використовуваного профілю від еталонного вважається несанкціонованою діяльністю. Статистичні методи універсальні, оскільки для проведення аналізу не потрібні попередні знання про можливі атаки і використовувані ними методи вразливості. Крім того, значною перевагою статистичного аналізу трафіку є можливість визначення нових та таких, які раніше не ідентифікувалися, методів впливу на комп'ютерну мережу.

Основні переваги статистичного підходу – використання вже розробленого і зарекомендованого апарату математичної статистики і його адаптація до поведінки суб'єкта за рахунок використання відповідних методів аналізу трафіку, їх комбінацій та модифікацій. Недоліками статистичних методів є достатньо велика ймовірність помилок першого та другого роду у випадку виявлення аномалій трафіку.

Методи вейвлет-аналізу є перспективними для виявлення аномальної поведінки мережевого трафіку, оскільки в їх основу покладений принцип декомпозиції динамічного ряду, який підлягає аналізу [3]. Поряд з достатньо розробленими алгоритмами вейвлет-аналізу існують проблеми використання відповідних утворюючих функцій для вейвлет-перетворень та способів визначення коефіцієнтів деталізації, апроксимації. Також проблемою є встановлення та перевірка гіпотез про аномальність поведінки трафіку [4] та використання відповідних типів вейвлетів залежно від обраного рівня достовірності результатів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вейвлет-аналіз (ВА) мережевого трафіку передбачає подання одновимірний цифрового масиву в різних масштабах чи рівнях дискретизації. При цьому можливе виявлення аномальних, підозрілих зон чи елементів масиву залежно від різних ступенів деталізації загального масиву – характерні деталі, які можуть залишатися непоміченими при одному ступені деталізації, можуть бути очевидними на іншому. Такі можливості зумовлені статистичним характером поведінки трафіку, який розглядається як одновимірний дискретизований цифровий масив даних у вигляді числового динамічного ряду  $Y(t_i) = f(\Delta t_i)$ , заданого в дискретні моменти часу  $\Delta t_i$  на всьому масиві спостережень ( $i = \overline{1, n}$ ) та за весь період спостережень ( $t = \overline{1, T}$ ). Математична модель мережевого трафіку може бути представлена у вигляді суперпозиції трьох класів складових (1):

$$Y(t_i) = tr(t_i) + C(t_i) + A(t_i) + e(t_i), \quad (1)$$

де  $tr(t_i)$  – тренд, загальна тенденція;

$C(t_i)$  – періодична складова (циклічна, сезонна), визначена для обраного інтервалу  $\Delta t_i$ ;

$A(t_i)$  – аномалії, різкі зміни трафіку.

Четверта компонента у (1) являє собою стохастичну складову, шум, який може виникати навколо основних складових, і для якої робиться припущення про рівність нулю її математичного очікування у випадкові моменти часу.

Аналіз літературних джерел [5; 6] показує, що основними алгоритмами ВА, які широко використовуються у практиці виявлення аномальної поведінки трафіку комп'ютерної мережі, є:

- алгоритм на основі дискретного вейвлет-аналізу мережевого трафіку;



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- алгоритм Бродського-Дарховського;
- алгоритм на основі суми квадратів вейвлет-коефіцієнтів;
- алгоритм на основі максимуму квадратів вейвлет-коефіцієнтів.

Наведені вище алгоритми аналізують такі параметри, як: помилки першого роду, помилки другого роду, кількість правильно виявлених аномалій.

Алгоритм на основі дискретного вейвлет-аналізу мережевого трафіку [7] передбачає аналіз обсягу переданої інформації в байтах, кількість переданих пакетів, завантаження процесора тощо за певний інтервал часу  $\Delta t_i$ . Зміна величини інтервалу дискретизації трафіку  $\Delta t_i$  дає змогу виявляти аномальні зміни трафіку, які не були виявлені в попередніх аналізах. Вейвлет-модель має такий вигляд:

$$Y(t_i) = \sum_{k,\tau} b_{k,\tau} \varphi_{k,\tau}(t_i) + \sum_{k,\tau} d_{k,\tau} \psi_{k,\tau}(t_i), \quad k, \tau = \overline{1, \infty}, \quad (2)$$

де  $\varphi_{k,\tau}(t_i)$  – масштабуюча функція, функція апроксимації мережевого трафіку;

$\psi_{k,\tau}(t_i)$  – вейвлет-функція, деталізації мережевого трафіку і його локальних особливостей;

$b_{k,\tau}, d_{k,\tau}$  – апроксимуючі і деталізуючі коефіцієнти з параметрами масштабу  $k$  та зсуву  $\tau$ .

Перша сума в (2) характеризує тренд і циклічні складові трафіку, а друга – значення флуктуацій на цих інтервалах, що характеризують активність (аномальність) суб'єктів мережі, з урахуванням стохастичної компоненти.

Дослідження авторів [5; 8] показали, що для моніторингу мережевого трафіку доцільно використовувати масштабуючу функцію  $\varphi_{k,\tau}(t_i)$  і вейвлет Хаара  $\psi_{k,\tau}(t_i)$ . Виявлення поточного рівня аномальності  $Y^{anomal}(t_i)$  за допомогою моделі (2) проводиться через визначення різниці рядів даних, отриманих у режимі навчання (еталонного ряду  $Y^{etal}(t_i)$ ) та в режимі реального часу (при поточному завантаженні мережі  $Y^{real}(t_i)$ ). За твердженням авторів такий підхід дозволяє усунути тренд і циклічну складову і на певному рівні дозволу оцінити активність суб'єктів. Таким чином, алгоритм на основі дискретного вейвлет-аналізу мережевого трафіку забезпечує покращення достовірності виявлення аномалій мережевого трафіку в умовах невизначеності.

У роботі [9] запропоновано метод виявлення розбалансування трафіку, заснований на виявленні зміни середнього значення випадкової величини у моделі виду (1). Цей метод є непараметричним. Перевагами подібних методів є їх незалежність від розподілів, відсутність необхідності наявності апріорних даних і можливість організувати кореляційний ряд з вибірових значень.

У загальному вигляді алгоритм Бродського-Дарховського виглядає таким чином:

$$\left\{ \begin{aligned} Y(n) &= \left[ \frac{n}{N} \left( 1 - \frac{n}{N} \right) \right]^\nu \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i - \frac{1}{N-n} \sum_{i=N+1}^N Y_i \right), \\ n_0 &= \arg \max |Y(n)| \end{aligned} \right. \quad (3)$$

де  $n$  – крок, на якому проводиться оцінка;

$n_0$  – оцінка моменту виникнення аномалії.

$$0 \leq \nu \leq 1$$

У разі, коли виявлення розбалансування трафіку проводиться в реальному часі методом ковзаючого вікна розміру  $m$ , що зміщується зліва направо по мірі надходження даних, алгоритм доповнюється даними, зміщеними на величину вікна [10]. Висновок

про наявність аномального викиду приймається не в усій реалізації, а в кожному конкретному вікні. така схема дозволяє динамічно відстежувати зміни в мережі і швидше реагувати на них. Алгоритм чітко визначає момент початку і кінця розбалансування трафіку за відсутності шуму і рівні шуму, що дорівнює рівню сигналу. У випадку перевищення значення шуму над значення сигналу в 2 і більше разів алгоритм працює нестабільно і з'являється ймовірність появи помилок першого і другого роду. Алгоритм у режимі ковзаючого вікна дозволяє виявити викид при значному рівні шумів, у тому числі і перевищенні шумами рівня сигналу. За допомогою алгоритму Бродського-Дарховського виявляється менше помилок 1 та 2 роду, але при цьому алгоритм має великі вимоги до ресурсів.

У роботі [11] наголошується, що одним з перспективних методів виявлення аномалій мережевого трафіку є методи ВА, що здійснюються на основі вейвлет-декомпозиції аналізованого, в загальному випадку нестационарного, сигналу. Вейвлет-декомпозиція дозволяє представити аналізований мережевий трафік у вигляді набору вейвлет-коефіцієнтів, які являють собою нову статистичну вибірку, що має свої власні характеристики.

Алгоритм, заснований на сумі квадратів вейвлет-коефіцієнтів, має велику ефективність. Найбільший ефект виявляється у процесі використання коефіцієнтів апроксимації для вейвлетів Хаара на верхніх рівнях розкладання. Але збільшення розміру вікна аналізу може привести до зростання ймовірності правильного виявлення аномалії, але при цьому також зростає ймовірність помилкового виявлення.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Методи виявлення аномалій, які базуються на методиці ВА, реалізованого на пропонуваніх алгоритмах, мають максимальну ефективність порівняно з іншими алгоритмами виявлення аномалій. Поряд з цим існують зауваження до використання цих методів, пов'язаних із реалізацією пропонуваніх алгоритмів. У таблиці наведена оцінка алгоритмів на наявність виконання кожного з факторів, що впливають на точність виконання алгоритмів.

Таблиця

*Аналіз ефективності алгоритмів вейвлет-аналізу*

Назва алгоритму	Помилки першого роду	Помилки другого роду	Складність алгоритму
Алгоритм на основі дискретного вейвлет-перетворення	+	+	-
Алгоритм Бродського-Дарховського	+	+	-
Алгоритм на основі суми квадратів вейвлет-коефіцієнтів	+	-	+
Алгоритм на основі максимуму квадратів вейвлет-коефіцієнтів	+	-	+

*Примітка: «+» означає здійсненність цього критерію оцінки щодо алгоритму; «-» означає нездійсненність цього критерію оцінки щодо алгоритму.*

Як видно з таблиці, проблема використання алгоритмів пов'язана з частковою нездійсненністю виявлення помилок другого роду в алгоритмах, пов'язаних із аналізом вейвлет-коефіцієнтів та значною складністю та ресурсоемністю алгоритмів дискретних перетворень та алгоритму Бродського-Дарховського.

Крім того, виходячи з аналізу останніх публікацій можна зробити висновок про те, що пропонувані методи виявлення аномалій будуть максимально ефективними у процесі аналізу трафіку в режимі реального часу за умови, коли буде запропонована технологія дискретизації трафіку та одночасного використання «ковзких вікон» трафіку. При цьому постає питання вибору максимально адекватної апроксимуючої функції, яка давала б змогу проводити аналіз у межах мінімальної складності та максимальної ефективності, при низькій ресурсоемності програмної реалізації. Також існує невизначеність у трактуванні апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів, які утворюють окрему статистичну вибірку з параметрами масштабу<sup>k</sup> та зсуву<sup>τ</sup> щодо виявлення на їх основі аномалій мережевого трафіку.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є модифікація методів вейвлет-аналізу в частині використання як масштабуючої функції ряду Фур'є. За обґрунтованого та коректного використання ряду Фур'є як апроксимуючої функції такий підхід дасть змогу проводити з мінімальними затратами ресурсів процедуру дискретизації та апроксимації трафіку за вибрані проміжки часу  $\Delta t_i$ . Крім того, апроксимація реального трафіку на обраних часових діапазонах дасть змогу з максимальною достовірністю та мінімальною затримкою в часі оцінювати ідеалізований профіль мережі та відхилення від «ідеальності», що можна класифікувати як аномальну поведінку трафіку. Аналіз коефіцієнтів деталізації, якими будуть виступати оцінки параметрів ряду, їх змін у часі буде додатковою характеристикою оцінки аномальної поведінки комп'ютерної мережі.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно з (2) вейвлет-модель включає в себе функцію апроксимації та функцію деталізації мережевого трафіку. В роботі пропонується використання як апроксимуючої функції ряду Фур'є:

$$\phi_{k,\tau}(t_i) = \frac{b_0}{2} + \sum_{i=1, k=1}^{n, \infty} \left[ b_{k,\tau} \cos\left(\frac{2\pi}{N} kt_i\right) + d_{k,\tau} \sin\left(\frac{2\pi}{N} kt_i\right) \right], \quad (4)$$

$$\text{де } b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N T_k(t_i)}{N};$$

$$b_{k,\tau} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [T_k(t_i) \cos(kt_i)];$$

$$d_{k,\tau} = \frac{2}{N} \sum_{i=1}^N [T_k(t_i) \sin(kt_i)];$$

$k$  – порядок вейвлету, гармоніка ряду Фур'є;

$N$  – довжина періоду дискретизації трафіку;

$T_k(t_i)$  – кількість запитів у трафіку за відповідний деталізуючий період.

Використання ряду Фур'є як функції апроксимації дає можливість отримати найбільш точні результати та виявити закономірності в динамічному ряду, яким є трафік мережі за період спостереження чи оцінювання. Під час аналізу трафіку важливим є те, що у функції Фур'є чітко виражаються амплітуди та початкові фази гармонічних компонент. Унаслідок цього є можливість встановлювати схожість чи відмінність у різних дискретизованих частинах трафіку за різних умов, як правило, у процесі порівняння «ідеального профілю» з реальним трафіком.

Перевага використання ряду Фур'є як масштабуючої функції полягає в тому, що щодо вхідного динамічного ряду – трафіку мережі – інформація про поведінку трафіку не втрачається за будь-якого рівня деталізації чи дискретизації. Недоліком використання ряду Фур'є у вейвлет-аналізі є залежність виявлення циклічних компонент від масштабу дискретизації, ширини вікна вейвлету.

Для отримання необхідних даних для аналізу трафіка на виявлення аномалій було взято лог – файл сайта форуму (zadrots.ru). Лог – файл містить більше 1 000 000 записів і включає в себе інформацію про IP-адресу користувача, запит користувача, дату та час, коли був здійснений запит, браузер та операційну систему користувача, відповідь, реферер. Основними даними для аналізу трафіку при реалізації методу є кількість запитів  $T(t_i)$  та час  $t_i$ . Для реалізації пропонованого методу аналізу обраний добовий інтервал  $t=24$  год з погодинною дискретизацією трафіку. Ширина вейвлету становить  $N=6$  год. Період добового спостереження розбитий погодинно на 4 періоди:  $N_1 \in [06.00 - 12.00]$ ,

$N_2 \in ]12.00 - 18.00]$ ,  $N_3 \in ]18.00 - 24.00]$ ,  $N_4 \in ]24.00 - 06.00]$ . Дискретизований трафік за 4 доби (96 годин) погодинно представлений на рис. 1.

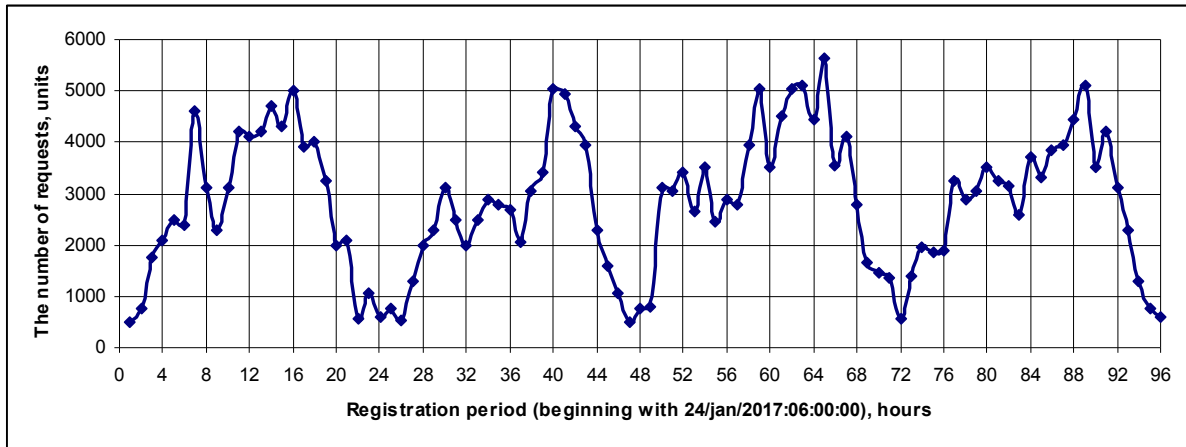


Рис. 1. Дискретизований трафік досліджуваної мережі за період 24.01.2017 р. – 27.01.2017 р.

Реалізацію пропонувано підходу розглянемо на прикладі добового дискретизованого трафіку, розбитого на 4 періоди (рис. 2).

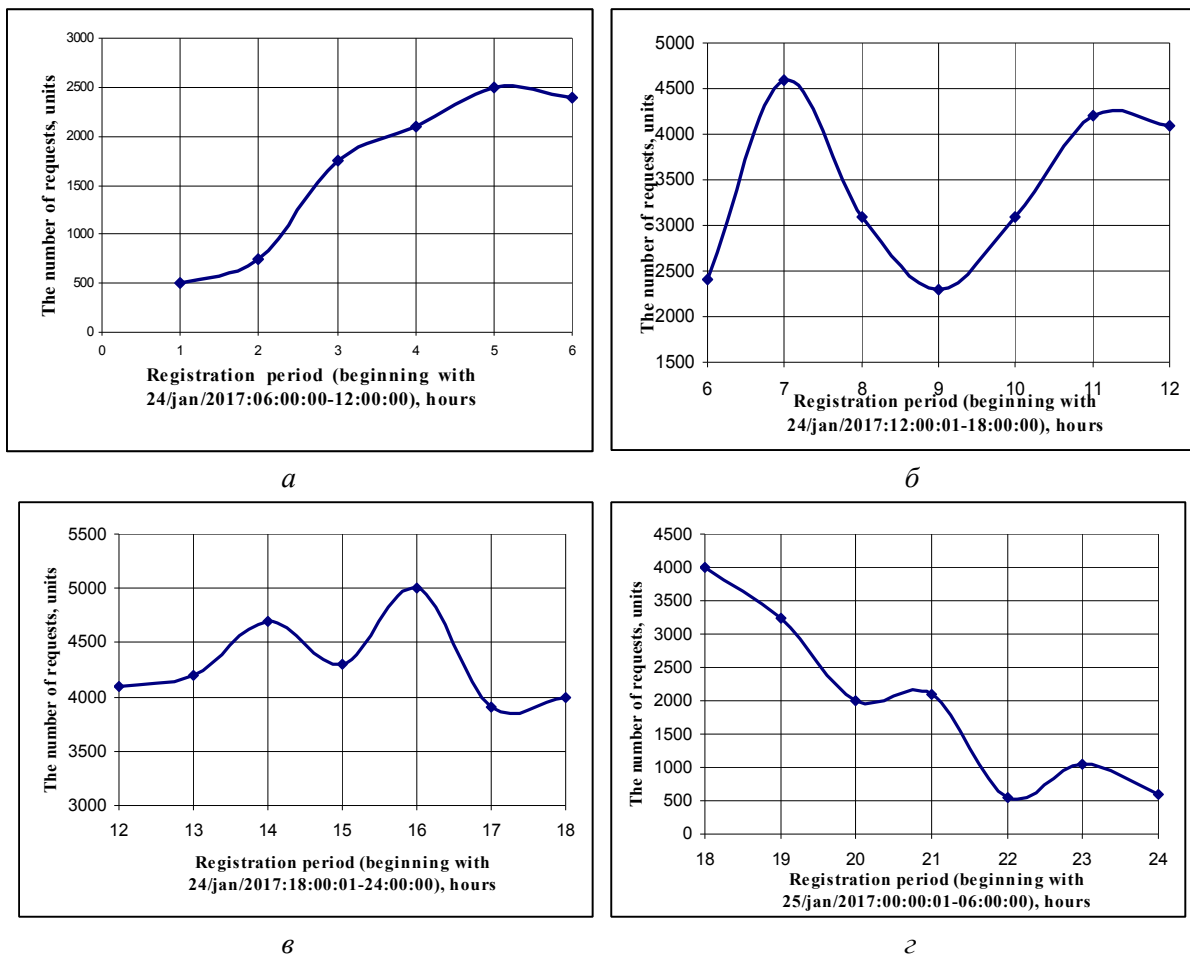


Рис. 2. Дискретизований добовий трафік досліджуваної мережі за період 24.01.2017 р. (06:00:00) - 25.01.2017 р. (06:00:00): а –  $N_1 \in [06.00 - 12.00]$ ; б –  $N_2 \in ]12.00 - 18.00]$ ; в –  $N_3 \in ]18.00 - 24.00]$ ; г –  $N_4 \in ]00.00 - 06.00]$

Апроксимацію дискретизованого трафіку для обраного періоду проводимо для  $k$ -ї гармоніки ряду Фур'є ( $k = \overline{1, \infty}$ ) за допомогою визначення апроксимуючих і деталізуючих коефіцієнтів  $b_{k,\tau}$ ,  $d_{k,\tau}$  з параметрами масштабу  $k$  та зсуву  $\tau$ , синтезом масштабуючої функції виду (4) та розрахунком трендових рівнів вейвлет-моделі. Критерієм якості моделювання та вибором найкращої гармоніки апроксимуючої функції є мінімізація похибки апроксимації:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [T_k(t_i) - T(t_i)]^2}{N}} = \min, \tag{5}$$

де  $T_k(t_i)$  – трендові рівні вейвлет-моделі для відповідного значення  $k$ .

Процес вибору вейвлету, який максимально достовірно відображає реальний трафік, є ітераційним і проводиться для  $k=1, k=2, k=3, \dots, k=m$  з визначенням на кожному кроці похибки апроксимації. Критерієм зупинки є мінімальне значення похибки апроксимації  $\sigma_k$ .

Алгоритм розрахунку утворюючої функції ряду Фур'є зображено на рис. 3.

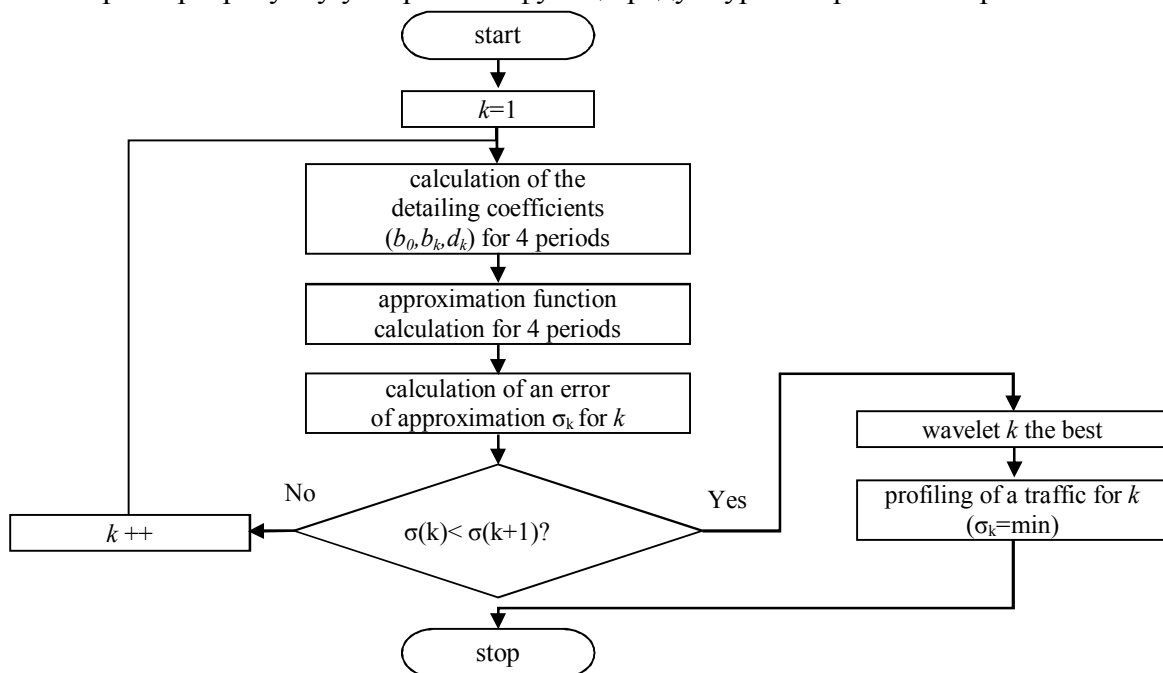


Рис. 3. Алгоритм розрахунку утворюючої функції ряду Фур'є

Для адаптації вейвлет-перетворення до аналізу трафіка використовується техніка двох вікон:  $W1$  (вікно порівняння) і  $W2$  (вікно виявлення). Вікно порівняння являє собою дискретизований реальний трафік, отриманий з лог-файла для відповідних періодів дискретизації, вікно виявлення – трендові значення трафіку для найкращого вейвлету ( $\sigma_k = \min$ ). Результати моделювання трафіку за допомогою модифікованого вейвлет-аналізу наведені на рис. 4. Попередні висновки про наявність аномалії проводяться за зонами, в яких спостерігається перевищення змодельованого трафіку над реальним [12].

Для більш математично коректного визначення аномальності трафіку у визначені часові проміжки чи моменти пропонується проводити аналіз динаміки апроксимуючих та деталізуючих коефіцієнтів.

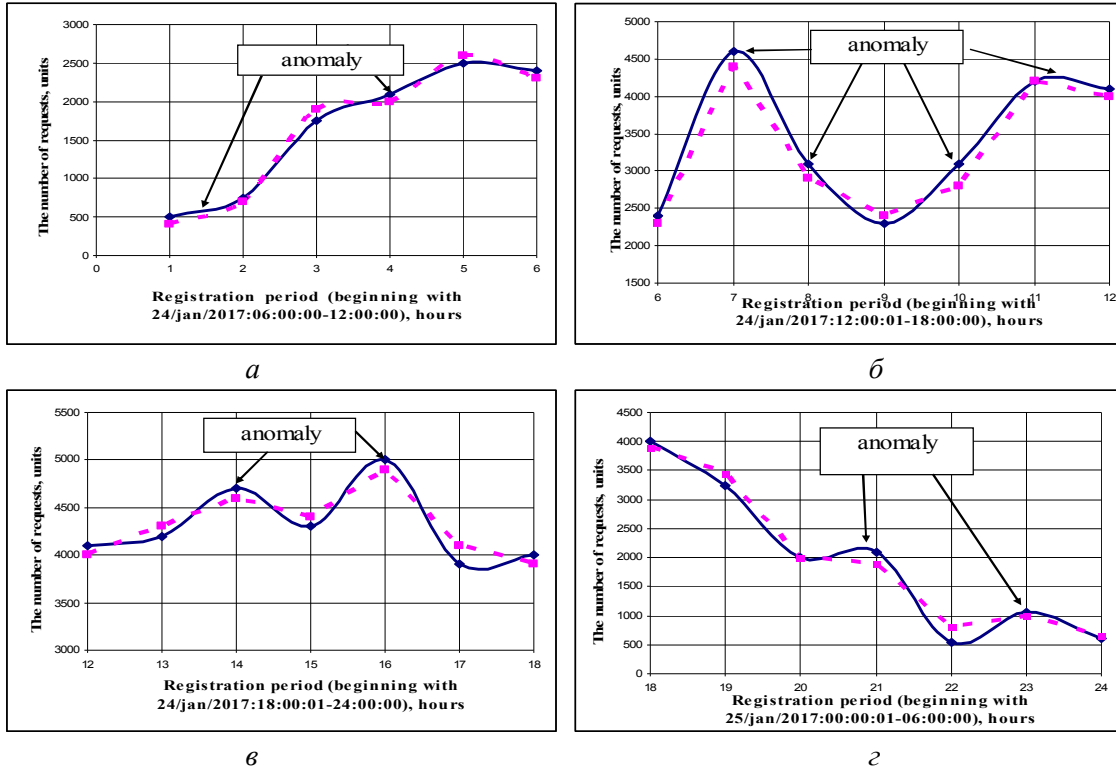


Рис. 4. Виявлення аномалій за аналізом апроксимуючої функції Фур’є: а –  $N_1 \in [06.00 - 12.00]$ ; б –  $N_2 \in [12.00 - 18.00]$ ; в –  $N_3 \in [18.00 - 24.00]$ ; г –  $N_3 \in [18.00 - 24.00]$

Згідно з теоремою Гаусса-Маркова [13] невідповідність третій умові теореми призводить до різкої зміни коефіцієнтів апроксимуючої функції при незначній зміні умов моделювання чи, наприклад, масиву спостережень. Невідповідність третій умові може свідчити про вплив сторонніх факторів на результати моделювання. Для перевірки умови стаціонарності, однорідності трафіку та відсутності впливу стохастичної складової проведено Фур’є-аналіз вейвлетів масштабу  $k$  (за умови  $\sigma_k = \min$ ) на основі «ковзких вікон» при зсуві (лагу)  $\tau = 1$  година. При визначеній ширині вікна апроксимації  $N = 6$  годин та погодинній дискретизації трафіку проведено моделювання трафіку протягом добового спостереження кількості запитів. У результаті отримані деталізуючі коефіцієнти  $b_{k,\tau=1}$ ,  $d_{k,\tau=1}$ , які являють собою статистичну вибірку, що має свої власні характеристики (рис. 5).

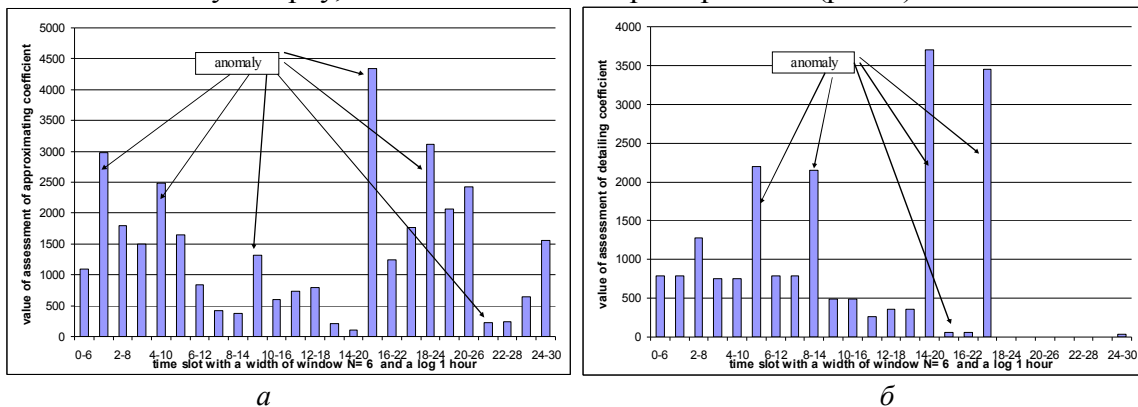


Рис. 5. Аналіз аномальної поведінки трафіку на часовому проміжку спостережень за період 24.01.2017 р. (06:00:00) – 25.01.2017 р. (06:00:00): а – апроксимуючі коефіцієнти; б – деталізуючі коефіцієнти

Як видно з рис. 5, різка зміна абсолютного значення коефіцієнтів у вказані періоди може свідчити про значний вплив сторонніх факторів, стохастичної складової, шумів, що може трактуватися як аномалія трафіку.

**Висновки і пропозиції.** Таким чином, за результатами запропонованої модифікації методики вейвлет-аналізу досягнуто значне скорочення ресурсоемності проведення аналізу трафіку мережі на предмет виявлення його аномальної поведінки.

Використання як апроксимуючої функції ряду Фур'є дає змогу проводити та виявляти не тільки трендів трафіку як динамічному ряду, але й виявляти його циклічні складові.

Побудова ідеалізованого профілю трафіку за критерієм мінімальної похибки апроксимації дає змогу проводити порівняння його з реальним трафіком та виявляти зони аномальності.

Отримані в результаті використання запропонованого підходу апроксимуючі та деталізуючі коефіцієнти, які утворюють власну статистичну вибірку, можуть бути використані як характеристики аномальності трафіку під час аналізу їх зміни (невиконанні третьої умови Гаусса-Маркова).

Подальшим напрямком досліджень, на нашу думку, доцільно провести аналіз автокореляційної функції, побудованої на динамічному ряду (трафіку) з метою виявлення порушень п'ятої умови Гаусса-Маркова стосовно взаємного впливу стохастичної компоненти в різних вікнах трафіку з різними значеннями лагу.

#### Список використаних джерел

1. *Denning Dorothy*. An Intrusion-Detection Model / Denning Dorothy // IEEE Transactions on Software Engineering. – 1987. – Vol. SE-13, No. 2. – Pp. 222–232.
2. *Amoroso Edward G.*, Intrusion Detection, 1st ed., Intrusion.Net Books, Sparta, New Jersey, USA, 1999, p. 218.
3. *Paul Barford, Jeffery Kline, David Plonka and Amos Ron*. A Signal Analysis of Network Traffic Anmalies / in Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ACM SOGCOMM Workshop on Internet Measurement. – New York, NY, USA, ISBN:1-58113-603-X. Pp.71–82.
4. *Шелухин О. И.* Сравнительный анализ алгоритмов обнаружения аномалий трафика методами дискретного вейвлет-анализа / О. И. Шелухин, А. С. Филинова // Т-Comm-Телекоммуникации и Транспорт. – 2014. – Вып. 9, т. 8. – С. 89–97.
5. *Орлов С. И.* Вейвлет-анализ. Основы теории / С. И. Орлов. – М. : ТЕХСФЕРА, 2006. – 272 с.
6. *Sheluhyn O. I.* Measuring of Reability of Network Anomalies Detections Using Methods of Discrete Wavelet Analysis / O. I. Sheluhyn, A. V. Pankrushin // Science and Information (SAI), Conference, 2015, Longon, UK, pp. 393–397.
7. *Шелухин О. И.* Обнаружение аномальных выбросов трафика методами дискретного вейвлет – анализа / О. И. Шелухин, А. В. Гермашев // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012. – № 22. – С. 71–82.
8. *Соловьев С. А.* Метод идентификации угроз безопасности информационных ресурсов АСУ на основе мультиразрешающего анализа / С. А. Соловьев, Л. А. Юркевская // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2007. – № 2 (20). – С. 70–76.
9. *Дарховский Б. С.* Апостериорное обнаружение момента «разладки» случайной последовательности / Б. С. Дарховский, Б. Е. Бродский // Теория вероятностей и ее применение. – 1980. – Т. 25, № 3 – С. 635–639.
10. *Скітер І. С.* Ідентифікація аномальної поведінки трафіку комп'ютерної мережі на основі EWMA-статистики / І. С. Скітер, І. В. Бальченко // Перша Міжнародна конференція «Проблеми виведення з експлуатації об'єктів ядерної енергетики та відновлення оточуючого середовища» INUDECO'16 25-27 квітня 2016 : зб. матеріалів. – Славутич : СФ НТУУ «КПІ», 2016. – С. 171–178.
11. *Микова С. Ю.* Обзор алгоритмов выявления сетевых атак / С. Ю. Микова, В. С. Оладько // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – № 9-1. – С. 59–62.
12. *Модельювання та аналіз безпеки розподілених інформаційних систем* : навч. посіб. / Литвинов В. В., Казимир В. В., Стеценко І. В., Трунова О. В. та ін. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – 254 с.
13. *Вапник В. Н.* Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В. Н. Вапник. – М. : Наука, 1979. – 358 с.

## References

1. Denning Dorothy (1987). An Intrusion-Detection Model. *IEEE Transactions on Software Engineering*, vol. SE-13, no. 2, pp. 222–232.
2. Amoroso, E.G. (1999). *Intrusion Detection [Intrusion Detection]*. 1st ed., Intrusion.Net Books, Sparta, New Jersey, USA.
3. Barford, P. & Kline, J. & Plonka, D. & Ron, A. (2002). A Signal Analysis of Network Traffic Anomalies. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> ACM SOGCOMM Workshop on Internet Measurement (USA, NY, New York, November 06-08), pp. 71–82.
4. Sheluhin, O.I. & Filinova, A.S. (2014). Sravnitel'nyi analiz algoritmov obnaruzheniya anomalii trafika metodami diskretnogo veivlet-analiza [Comparative Analysis of Algorithms of Detection of Anomalies of the Traffic by Methods of the Discrete of Veyvlt-analysis]. *T-Comm-Telekommunikatsii i Transport – T-Comm-Telecommunications and Transport*, issue 9, vol. 8, pp. 89–97 (in Russian).
5. Orlov, S.I. (2006). *Veivlet-analys. Osnovy teorii [Veyvlt-analysis. Basic theory]*. Moscow: TEHSFERA (in Russian).
6. Sheluhin, O.I. & Pankrushin, A.V. (2015). Measuring of Reability of Network Anomalies Detections Using Methods of Discrete Wavelet Analysis. Proceedings from *Science and Information (SAI), Conference*. (UK, Longon, July 28-30), pp. 393–397.
7. Sheluhin, O.I. & Germashev, A.V. (2012). Obnaruzhenie anomalnykh vybrosov trafika metodami diskretnogo veivlet-analiza [Detection of the abnormal bursts of a traffic by methods of the discrete veyvlt-analysis]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy – Electromagnetic waves and electronic systems*, no. 22, pp. 71–82 (in Russian).
8. Soloviov, S.A. & Iurkevskaya, L.A. (2007). Metod identifikatsii ugroz bezopasnosti informatsionnykh resursov ASU na osnove multirazreshaiushchego analiza [Method of identification of security risks of information resources of ACS on the basis of the multiallowing analysis]. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta – Bulletin of the Samara state technical university*, no. 2 (20), pp. 70–76 (in Russian).
9. Darhovskiy, B.S. & Brodskiy, B.E. (1980). Aposteriornoe obnaruzhenie momenta «razladki» sluchainoi posledovatelnosti [A posteriori discovery of moment of “discord” of casual sequence]. *Teoriya veroiatnosti i ee primenenie – Theory of chances and her application*, vol. 25, no. 3, pp. 635–639 (in Russian).
10. Skiter, I.S. & Balchenko, I.V. (2016). Identyfikatsiia anomalnoi povedinky trafiku kompiuternoi merezhi na osnovi EWMA-statystyky [Identification of the aberrant behavior of a computer network on the basis of EWMA statistics]. Proceedings from *Persha Mizhnarodna konferentsiya “Problemy vivetdennya z ekspluatatsii obektiv yadernoi enerhetyky ta vidnovlennia otochuiuchoho seredovishcha” INUDECO'16 – Problems of leading out are from exploitation of objects of nuclear energy and proceeding in an environment. Conference proceedings of the 1<sup>st</sup> International conference INUDECO'16*. (Slavutich, April 25-27, 2016). Slavutich: SD NTUU «KPI», pp. 171–178 (in Ukrainian).
11. Mikova, S.Y. & Oladko, V.S. (2015). Obzor algoritmov vyavleniia setevykh atak [Review of algorithms of exposure of network attacks]. *Aktualnye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk – Actual problems of humanitarian and natural sciences*, no. 9-1, pp. 59–62 (in Russian).
12. Lytvynov, V.V., Kazymyr, V.V., Stetsenko, I.V., Trunova, O.V. et al. (2016). *Modelivannia ta analiz bezpeki rozpodilenykh informatsiynykh system [Modeling and analysis of security of distributed information systems]*. Chernihiv: ChNTU (in Ukrainian).
13. Vapnik, V.N. (1979). *Vosstanovlenie zavisimosti po empiricheskim dannym [Addiction recovery from empirical data]*. Moscow: Nauka (in Russian).

*Vitalii Lytvynov, Igor Skiter, Helen Trunova, Eduard Sidin*

## MODIFICATION OF METHODOLOGY OF WAVELET-ANALYSIS IS FOR EXPOSURE OF ANOMALIES IN TRAFFIC OF COMPUTER NETWORK

**Urgency of the research.** Reliable data transmission in the network should be based on the usage of appropriate methods of anomaly detection network traffic. Quantitative analysis of the network on the basis of a statistical approach is based on the data analysis in the form of dynamic series. Methodological support improvement of computer network traffic analysis is necessary for effective usage of wavelet analysis methods.

**Target setting.** Methods of wavelet analysis is prospective for detection of network traffic abnormal behavior because they are based on the decomposition of traffic as dynamic series of. In this case there are set of problems such as appropriate scalable wavelet functions selecting, ways of detail coefficients determining, its interpretation and hypotheses testing for the traffic behavior anomaly.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Works which were devoted to statistical methods and techniques for analysis and anomaly detection algorithms include evaluation of anomalous traffic indicators such as: the first kind of errors, errors of the second kind, the number of correctly identified anomalies.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Usage wavelet analysis algorithms is associated with its specific resource consumption and complexity, the difficulties of the second kind errors detecting. In addition, there is the question of choice of the



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

most appropriate scaling function and necessity of interpretation of approximating and detailing factors, which are formed a separate statistical sample.

**The research objective.** The aim is the usage Fourier series as the scaling function in the traffic wavelet analysis; construction of idealized network profile and evaluation of anomalous traffic behavior; coefficient detailing analysis as a separate statistical sample.

**The statement of basic materials.** Traffic analysis using Fourier functions as scaling was conducted. This provided the possibility to get an amplitude in an explicit form and initial phases of harmonic component. This made it possible to compare the "ideal profile" with real traffic. Preliminary conclusions about the presence of anomalies on areas where there is an exceeding of simulated traffic over the real are conducted. Sharp change of the absolute value of detailing coefficients in the analyzed traffic windows can also be interpreted as anomaly traffic.

**Conclusions.** The proposed Wavelet analysis method modification provides a significant reduction of analysis capacity resources of network traffic. Usage of Fourier series allows to identify trends and cyclical components in traffic, identify anomalous zones. Obtained approximating and detailing coefficients can be used as anomalous traffic characteristics in the analysis of its changes.

**Key words:** wavelet-analysis; approximating function; Fourier series; detailing coefficients; profile of network; anomaly.

*Виталий Литвинов, Игорь Скитер, Елена Трунова, Эдуард Сидин*

## МОДИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ В ТРАФИКЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

Для обеспечения надежной передачи данных в сети необходимо использование адекватных методов выявления аномалий, которые дадут возможность обнаруживать аномальный сетевой трафик, оценивать величину и параметры аномалии. Статистические методы анализа наиболее распространены для реализации технологий выявления аномалий. Количественный анализ сети на основе использования статистического подхода базируется на анализе массивов данных в виде динамических рядов – статистической информации по прохождению трафика.

Работа посвящена решению вопросов усовершенствования методического обеспечения анализа трафика компьютерной сети с использованием модифицированного метода вейвлет-анализа, в котором в качестве аппроксимирующей функции выступает ряд Фурье, идентификация аномалий проводится на основе отклонений идеализирующего профиля от реального и за резкими изменениями, детализирующих коэффициентов.

**Ключевые слова:** вейвлет-анализ; аппроксимирующая функция; ряд Фурье; детализирующие коэффициенты; профиль сети; аномалии.

**Литвинов Віталій Васильович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Литвинов Виталий Васильевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Lytvynov Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vlitvin@ukrsoft.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2334-2275>

**Скитер Ігор Семенович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Скитер Игорь Семенович** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Skiter Igor** – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2334-2276>

**ResearcherID:** F-5950-2014

**Трунова Олена Василівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Трунова Елена Васильевна** – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Trunova Helen** – PhD in Pedagogical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** e.trunova@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0689-8846>

**Сідін Едуард Пилипович** – кандидат технічних наук, доцент, науковий співробітник, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Сидин Эдуард Филиппович** – кандидат технических наук, доцент, научный сотрудник, Государственный научно-испытательный центр Вооруженных сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14033, Украина).

**Sidin Eduard** – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Researcher of State Research and Test Center of the armed forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** sidin.e.f@mail.ru

УДК 004.054

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-110-115

Ірина Богдан

**ВЕРИФИКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТНО-ОРИЄНТОВАНИХ ПРОГРАММ:  
ПРОВЕРКА НА НЕПРОТИВОРЕЧИВІСТЬ І СОГЛАСОВАНІСТЬ**

*Актуальність теми дослідження.* Якість є найважливішою характеристикою будь-якого програмного забезпечення. Для забезпечення високого якості створюваної програми необхідно виконання ряду процедур, однією з основних серед яких є верифікація.

*Постановка проблеми.* Верифікації підлягає як само програмне забезпечення, так і його модель, яка в разі з об'єктно-орієнтованим програмним забезпеченням представлена множиною UML-діаграмм.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Практично всі з існуючих на даний момент методів верифікації моделей об'єктно-орієнтованих програм дозволяють виконати верифікацію виключно окремих діаграм, не перевіряючи при цьому всю модель в цілому на непротиворечивість її складових.

*Виділення нерешених раніше частин загальної проблеми.* Таким чином, актуальною є задача перевірки на непротиворечивість і узгодженість всіх UML-діаграмм, що входять до складу створюваного об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення.

*Постановка задачі.* Головною метою даної статті є опис умов і обмежень, виконання яких дозволить забезпечити узгодженість і непротиворечивість між UML-діаграмами всередині моделі об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення.

*Изложение основного материала.* Так як діаграма варіантів використання описує вимоги до програмного забезпечення, то непротиворечивість переходу від даної діаграми до діаграм класів перевірити неможливо. Діаграми взаємодії і поведінки будуються на основі діаграм класів, тому необхідно перевірити узгодженість і непротиворечивість переходу від діаграм класів до даних діаграм. Діаграма компонентів також створюється на основі діаграм класів, таким чином слід перевірити правильність переходу від діаграм класів до діаграм компонентів, а потім – від діаграм компонентів до діаграм розгортання.

*Висновки.* В статті пропонуються умови і обмеження, перевірка і виконання яких дозволить забезпечити узгодженість і непротиворечивість між UML-діаграмами всередині конкретної моделі об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення.

*Ключевые слова:* об'єктно-орієнтоване програмне забезпечення; верифікація; модель; узгодженість; непротиворечивість; UML-діаграма.

**Постановка проблеми.** Найважливішою характеристикою будь-якого програмного забезпечення багато років було і на сьогоднішній день залишається його якість. Існує декілька процедур, які дозволяють забезпечити високу якість створюваних програм. До таких процедур належать аудиту, ревізії, інспекції на основі опитувань експертів, інспекції на основі ділових ігор експертів, звітність, тестування і верифікація, яка є основною для забезпечення високого якості готового програмного продукту.

Верифікація програмного забезпечення – це прийоми і методи доказування (або спростування) того, що програмне забезпечення задовольняє заданій формальній специфікації [1]. В разі, якщо верифікації підлягає об'єктно-орієнтоване програмне забезпечення, то актуальною є верифікація не тільки самого програмного забезпечення, але й його моделі, що представляє собою множиною UML-діаграмм: діаграми варіантів використання, діаграми класів, діаграми послідовності, діаграми кооперації, діаграми станів, діаграми розгортання, діаграми компонентів і діаграми діяльності.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* На даний момент існує багато різних методів верифікації моделей об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення. Однак, практично всі з них дозволяють виконати верифікацію виключно окремих діаграм, не перевіряючи при цьому всю модель в цілому на непротиворечивість її складових.

**Виділення нерешених раніше частин загальної проблеми.** Таким чином, актуальною є задача перевірки на непротиворечивість і узгодженість всіх UML-діаграмм, що входять до складу створюваного об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення.

**Цель статьи.** Головною метою даної статті є опис умов і обмежень, виконання яких дозволить забезпечити узгодженість і непротиворечивість між UML-діаграмами всередині моделі об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення.

**Изложение основного материала.** Первым при создании модели объектно-ориентированного программного обеспечения выполняется построение диаграммы вариантов использования. Данная диаграмма позволяет сформулировать общие требования к функциональному поведению создаваемого программного обеспечения. После чего путем анализа уже созданной и согласованной как внутри группы разработчиков, так и с заказчиком диаграммы вариантов использования создается одна или несколько диаграмм классов. Диаграмма классов служит для представления статической структуры модели создаваемого программного обеспечения (рис. 1). Однако случаи использования, отображенные на диаграмме вариантов использования, не являются представлениями программного обеспечения. Они представляют требования, которым должно соответствовать программное обеспечение. В свою очередь диаграмма классов отображает различные взаимосвязи между отдельными сущностями одной и той же предметной области, а также описывает их внутреннюю структуру и типы отношений [2]. Поэтому корректность перехода от диаграммы вариантов использования к диаграмме классов проверить невозможно.

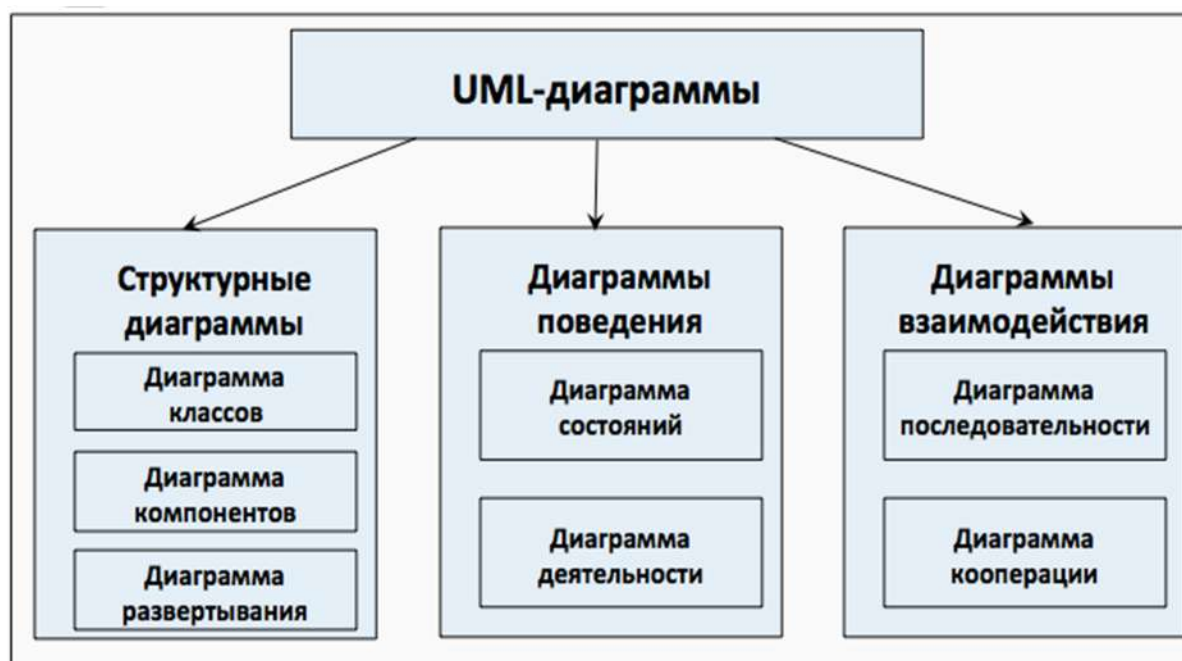


Рис. 1. Типы UML-диаграмм

После создания одной или нескольких диаграмм классов, а также на их основе происходит построение диаграмм поведения и диаграмм взаимодействия (рис. 1).

К диаграммам поведения принадлежат диаграммы состояний и диаграммы деятельности. Диаграмма состояний описывает динамическое поведение сущностей на основании описания их реакций на некоторые события. Диаграмма деятельности позволяет отобразить особенности процедурного и синхронного управления, обусловленного завершением внутренних деятельностей и действий.

К диаграммам взаимодействия принадлежат диаграммы последовательности и диаграммы кооперации. Диаграмма последовательности необходима для изучения временного аспекта поведения создаваемой программы при моделировании синхронных процессов, описывающих взаимодействие объектов. Диаграмма кооперации служит для обозначения множества взаимодействующих с определенной целью объектов и описания особенностей реализации отдельных, наиболее значимых операций в создаваемом объектно-ориентированном программном обеспечении.

Поскольку диаграмма последовательности предназначена для представления временных особенностей передачи и приема сообщений между объектами классов, описанных на диаграмме классов, то для корректного перехода от диаграммы классов к диаграмме последовательности и обеспечения их согласованности необходимо выполнение следующих условий:

- в качестве сообщений на диаграмме последовательности могут быть указаны только методы и атрибуты из соответствующей диаграммы классов. Данное условие можно проверить путем использования метода протоколов [3];

- на диаграмме могут присутствовать объекты только тех классов, которые указаны на диаграмме классов.

Диаграмма кооперации описывает структурный аспект поведения объектов. Существует две разновидности данной диаграммы: диаграмма кооперации уровня спецификации и диаграмма кооперации уровня примеров [4].

Поскольку диаграмма кооперации уровня спецификации относится к отдельному варианту использования и детализирует особенности его последующей реализации, то и проверка на согласованность с другими диаграммами для нее состоит исключительно в проверке наличия на диаграмме вариантов использования такого случая использования, который описан на диаграмме кооперации.

Так как диаграмма кооперации уровня примеров представляет собой совокупность объектов классов, описанных на диаграмме классов, и связей, также описанных на диаграмме классов в качестве методов классов, то для корректного перехода от диаграммы классов к диаграмме кооперации и обеспечения их согласованности необходимо выполнение следующих условий:

- в качестве связей на диаграмме кооперации уровня примеров могут быть указаны только методы и атрибуты из соответствующей диаграммы классов;

- на диаграмме могут присутствовать объекты только тех классов, которые указаны на диаграмме классов.

Каждая диаграмма состояний описывает возможную последовательность состояний и переходов, которые в совокупности характеризуют поведение отдельного элемента модели в течении его жизненного цикла [4]. Для корректного перехода от диаграммы классов к диаграмме состояний необходимо выполнение таких условий:

- в качестве имен действий внутри состояний на диаграмме состояний могут быть указаны только методы из соответствующей диаграммы классов;

- в качестве имен атрибутов внутри состояний могут быть указаны только атрибуты из соответствующей диаграммы классов.

Диаграмма деятельности позволяет детализировать особенности алгоритмической и логической реализации выполняемых системой операций, а также имеет такую графическую нотацию, которая похожа на графическую нотацию, используемую на диаграмме состояний. Отличие заключается в семантике состояний, которые используются для представления не деятельности, а действий, и в отсутствии на переходах сигнатуры событий [5]. Каждое состояние на диаграмме деятельности соответствует выполнению некоторой элементарной операции, а переход в следующее состояние срабатывает только при завершении этой операции в предыдущем состоянии. Таким образом, для корректного перехода от диаграммы классов к диаграмме деятельности необходимо выполнение таких условий:

- в качестве имен состояний на диаграмме деятельности могут быть указаны только методы из соответствующей диаграммы классов;

- в качестве имен атрибутов внутри состояний могут быть указаны только атрибуты из соответствующей диаграммы классов.

После завершения построения всех диаграмм поведения и взаимодействия необходимо убедиться, что объекты всех присутствующих на диаграмме классов классов участвуют во взаимодействии на данных диаграммах.

Диаграмма компонентов описывает особенности физического представления создаваемого объектно-ориентированного программного обеспечения. Диаграмма компонентов позволяет определить архитектуру разрабатываемой системы и обеспечить согласованный переход от логического представления к конкретной реализации проекта в виде программного кода. Основным элементом на данной диаграмме является компонент – элемент, который служит для общего обозначения элементов физического представления модели. Таким образом, данная диаграмма логически связана прежде всего с диаграммой классов и для корректного перехода от диаграммы классов к диаграмме компонентов необходимо выполнение таких условий:

- в качестве имен компонентов-рабочих продуктов на диаграмме компонентов могут быть указаны исключительно имена классов и интерфейсов с соответствующей диаграммы классов;

- количество компонентов-рабочих продуктов не должно превышать суммарное количество интерфейсов и классов на соответствующей диаграмме классов.

Помимо диаграммы компонентов для описания особенностей физического представления создаваемой программы используется также диаграмма развертывания. Диаграмма развертывания применяется для представления общей конфигурации и топологии распределенной программной системы и содержит распределение компонентов по отдельным узлам [5]. Также данная диаграмма предназначена для визуализации элементов и компонентов программы, существующих только на этапе ее исполнения. Таким образом, данная диаграмма логически связана прежде всего с диаграммой компонентов. Даже не смотря на то, что диаграмма развертывания является самой «демократичной» из всех диаграмм UML, так как помимо канонического представления элементов на данной диаграмме могут также присутствовать и графические примитивы, в случае, если на узлах указаны компоненты из диаграммы компонентов, их названия должны совпадать с именами компонентов на самой диаграмме компонентов.

В [6] предложена автоматизированная система верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения (рис. 2), в которой для создания диаграмм используется утилита `uml2 modelingtools`. При создании диаграммы с помощью данной утилиты появляются два файла: непосредственно сама диаграмма, а также файл `*.uml`, в котором диаграмма представляется в виде XML-файла. Именно этот файл используется далее для парсинга диаграммы, так как формат XML является одним из простейших и существенно упрощает работу разработчика.

Представленные в удобном для анализа XML-формате диаграммы, составляющие модель создаваемого программного обеспечения, и используются далее для отслеживания вышеуказанных ограничений.

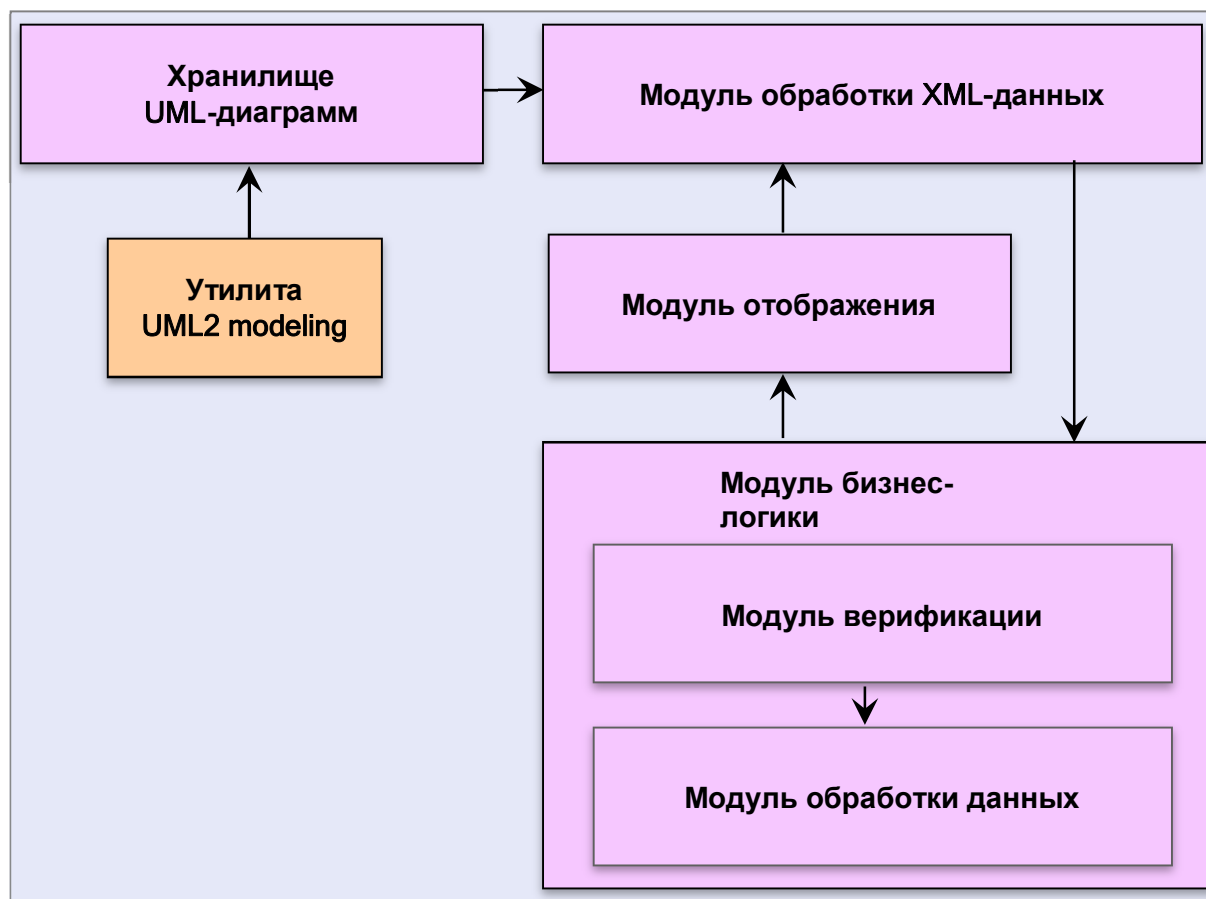


Рис. 2. Архитектура автоматизированной системы верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения

**Выводы и предложения.** В статье предложены условия и ограничения, проверка и выполнение которых позволит обеспечить согласованность и непротиворечивость между UML-диаграммами внутри конкретной модели объектно-ориентированного программного обеспечения.

#### Список использованных источников

1. OMG. Architecture Board ORMSC // Model Driven Architecture (MDA). – ormsc/2001-07-01, 2001. – July 9. – 28 p.
2. Синицын С. В. Верификация программного обеспечения : учеб. пособие / С. В. Синицын, Н. Ю. Налютин. – М. : Интернет-университет информационных технологий ; БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 368 с.
3. Макгрегор Дж. Тестирование объектно-ориентированного программного обеспечения : практическое пособие / Дж. Макгрегор, Д. Сайкс ; пер. с англ. – К. : ООО «ТИД «ДС»», 2002. – 432 с.
4. Леоненков А. Самоучитель UML. Эффективный инструмент моделирования информационных систем / А. Леоненков – СПб. : BHV-Санкт-Петербург, 2001. – 304 с.
5. Тамре Л. Введение в тестирование программного обеспечения / Л. Тамре ; пер. с англ. – М. : Вильямс, 2003. – 368 с.
6. Литвинов В. В. Автоматизированная система верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения / В. В. Литвинов, И. В. Богдан // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 1 (77). – С. 83–90.

#### References

1. OMG. Architecture Board ORMSC (2001). *Model Driven Architecture (MDA)* – ormsc/2001-07-01. July 9, 28 p.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Sinicyn, S.V., Nalyutin N.YU. (2008). *Verifikatsiia programmnogo obespecheniia [Programs verification]*. Moscow: Internet-universitet informatsionnykh tekhnologii; BINOM. Laboratoriia znaniia (in Russian).
3. Makgregor, Dzh., Sajks, D. (2002). *Testirovanie obektno-orientirovannogo programmnogo obespecheniia [Testing of object-oriented programs]*. Kyiv: OOO "TID «DS»" (in Russian).
4. Leonenkov, A. (2001) Samouchitel UML. Effektivnyi instrument modelirovaniia informatsionnykh sistem [UML Tutorial. An effective tool for modeling of information systems]. Saint-Petersburg: BHV-Sankt-Peterburg (in Russian).
5. Tamre, L. (2003) *Vvedenie v testirovanie programmnogo obespecheniia [Introduction to Software Testing]*. Moscow: Viliams (in Russian).
6. Litvinov, V.V., Bogdan, I.V. (2015). Avtomatizirovannaia sistema verifikatsii modelei obektno-orientirovannogo programmnogo obespecheniia [The automated system of verification of the object-oriented software models]. *Visnik Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universitetu. Seriiia «Tekhnichni nauki» – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical sciences"*, vol. 1 (77), pp. 83–90 (in Russian).

Iryna Bohdan

### VERIFICATION OF MODELS OF OBJECT-ORIENTED PROGRAMS: CHECKING FOR NON-OPINIONITY AND CONSISTENCY

**Urgency of the research.** *Quality is an essential characteristic of any software. To ensure the high quality of the created program, it is necessary to perform a number of procedures, one of the main among which is verification.*

**Target setting.** *Verification is performed to both the software itself and its model, which in the case of object-oriented software is represented by a variety of UML diagrams.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Nearly all of the existing methods of verification of models of object-oriented programs allow you to verify only individual diagrams without checking the entire model as a whole for the consistency of its components.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Accordingly, the problem of checking for consistency of all UML diagrams that are a part of the created object-oriented software is actual.*

**The research objective.** *The main purpose of this article is to describe the conditions and constraints, the implementation of which will ensure the consistency between UML diagrams within the object-oriented software model.*

**The statement of basic materials.** *Since the use case diagram describes the software requirements, the consistency of the transition from a given diagram to a class diagram can not be verified. Diagrams of interaction and behavior are built on the basis of a class diagram, so it is important to check the consistency of the transition from the class diagram to these diagrams. The component diagram is also created based on the class diagram, so it is compulsory to check the correctness of the transition from the class diagram to the component diagram, and then - from the component diagram to the deployment diagram.*

**Conclusions.** *The article represents conditions and limitations, the verification and the implementation of which will ensure consistency between UML diagrams within a particular model of object-oriented software.*

**Key words:** diagram; verification; model.

Ірина Богдан

### ВЕРИФІКАЦІЯ МОДЕЛЕЙ ОБ'ЄКТНО-ОРИЄНТОВАНИХ ПРОГРАМ: ПЕРЕВІРКА НА НЕСУПЕРЕЧЛИВІСТЬ ТА УЗГОДЖЕНІСТЬ

Верифікація є однією з основних процедур забезпечення якості програмного забезпечення. У випадку з об'єктно-орієнтованим програмним забезпеченням верифікації підлягає як сама програма, так і її модель, що представлена множиною UML-діаграм. Існує досить багато різних методів верифікації UML-діаграм, однак жоден з них не перевіряє на несуперечливість та узгодженість діаграми, що входять до складу тієї ж самої моделі.

Стаття присвячена опису умов та обмежень, виконання яких дозволить забезпечити узгодженість та несуперечливість між UML-діаграмами всередині моделі об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення.

**Ключові слова:** об'єктно-орієнтоване програмне забезпечення; верифікація; модель; узгодженість; несуперечливість; UML-діаграма.

**Богдан Ірина Валентиновна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігів, 14027, Україна).

**Богдан Ірина Валентинівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченко, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Bohdan Iryna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1521-6958>

Богдан И. Верификация моделей объектно-ориентированных программ: проверка на непротиворечивость и согласованность / И. Богдан // Технические науки та технології. – 2017. – № 2 (8). – С. 110-115.

УДК 004.42:004.75

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-116-122

Сергей Точилин

## ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ RESTful И SOAP PHP WEB-СЕРВИСОВ ПРИ ПОИСКЕ В ДАННЫХ MySQL

**Актуальность темы исследования.** При построении распределенных компьютерных систем широко используется сервис-ориентированная архитектура (COA). Для практической реализации систем с COA применяют технологии Web-сервисов. Одним из основных требований предъявляемых к Web-сервисам является производительность функционирования, которая зависит от их программной реализации.

**Постановка проблемы.** Web-сервисы используются для доступа к информации, которая хранится в базах данных СУБД, размещенных на Web-узлах.

В этой связи актуальной является проблема выбора оптимального программного обеспечения для реализации информационного Web-сервиса с оперативным доступом к данным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** При доступе к данным Web-сервисы используют запросы к СУБД, которые, как правило, реализуют в виде команд SQL.

Для повышения эффективности работы Web-приложений, которые работают с данными, вместо команд SQL применяют хранимые процедуры и функции СУБД.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Исследований производительности RESTful и SOAP PHP Web-сервисов, которые при доступе к данным MySQL с различным объемом хранимой информации в одном режиме функционирования применяли команды SQL, в другом – хранимые процедуры, не проводилось.

**Постановка задачи.** Определить и проанализировать производительность RESTful и SOAP PHP Web-сервисов, которые используют команды SQL и функционально подобные хранимые процедуры при поиске в данных MySQL, для выбора оптимального программного обеспечения Web-служб, работающих с СУБД MySQL.

**Изложение основного материала.** Как выяснилось, использование RESTful и SOAP PHP Web-сервисами при запросах к MySQL на поиск в данных хранимых процедур, вместо команд SQL, снижало их производительность.

В тоже время, при поиске в исследованных объемах данных  $V \leq 2$  МБайт с применением в запросах к MySQL, как команд SQL, так и хранимых процедур, RESTful Web-сервис был более производительным, чем SOAP PHP сервис.

**Выводы статьи.** Установлены особенности производительности RESTful и SOAP PHP сервисов при поиске в данных MySQL с использованием, как команд SQL, так и хранимых процедур.

При поиске в данных MySQL RESTful Web-сервис во всех режимах функционирования был более производительный чем SOAP PHP сервис.

**Ключевые слова:** производительность; SOAP; RESTful; Web-сервис; MySQL.

**Постановка проблемы.** При построении современных распределенных компьютерных систем широко используется сервис-ориентированная архитектура (COA). Для практической реализации систем с COA применяют технологии Web-сервисов (Web-служб) [1–3].

Web-сервисы предоставляют Web-услуги в рамках слабосвязанных Web-приложений. К таким услугам, в частности, относятся услуги доступа к информации, которая хранится в базах данных (БД), созданных и поддерживаемых определенной системой управления БД (СУБД). При этом для доступа к данным используют запросы к соответствующей СУБД, которые, как правило, реализуют на структурированном языке запросов (Structured Query Language – SQL) в виде команд SQL.

В тоже время для повышения эффективности работы Web-приложений, которые работают с данными, вместо команд SQL применяют хранимые процедуры и функции СУБД [4].

В соответствии с [4] их использование, в частности, позволяет:

- Обеспечить дополнительную защиту данных СУБД.
- Минимизировать изменения кода приложения при изменении структуры БД.
- Уменьшить сетевой трафик, обусловленный обменом информации с сервером СУБД.
- Инкапсулировать логику работы с данными.
- Повысить транспортабельность приложений для работы с СУБД.

Однако при использовании хранимых процедур и функций может измениться производительность Web-приложений, работающих с информацией.



В тоже время одним из основных требований, предъявляемых к Web-сервисам, является оперативность предоставления Web-услуг, которая зависит от того, каким образом сервис программно реализуется [5; 6].

В этой связи актуальной является задача выбора оптимального программного обеспечения для реализации информационного Web-сервиса, которая тесно связана с задачей выбора или разработки программы-тестера, определяющей его производительность [6].

**Анализ последних исследований и публикаций.** Язык программирования PHP широко применяется для разработки распределенных приложений. При этом программные средства PHP являются эффективной платформой для COA. С ее помощью разрабатываются Web-сервисы, поддерживающие различные протоколы и технологии [7]. В частности, службы на основе PHP и протокола SOAP, которые предоставляют Web-услуги в виде XML-сообщений.

Современные распределенные приложения с COA широко используют RESTful Web-сервисы [7; 8], которые представляют удаленные ресурсы с помощью HTTP-протокола.

К отдаленным ресурсам, можно отнести и отдельные записи, которые хранятся в БД и являются доступными для сервиса. В тоже время, данные таких БД, клиент RESTful Web-сервиса может получать, добавлять, изменять и удалять, используя для этого HTTP-методы GET, PUT, POST и DELETE, соответственно, при обращении Web-приложения к СУБД.

Платформа PHP имеет интерфейс программирования приложений достаточный для разработки RESTful Web-сервисов. Особенности их реализации на основе PHP API рассматриваются в [7; 8].

Web-сервисы, широко используются для доступа к информации, которая хранится в БД СУБД, размещенных на Web-узлах. При этом в соответствии с [9] запросы к СУБД на поиск в данных являются наиболее важным типом запросов к информационному Web-узлу.

Как известно, к наиболее распространенным и производительным СУБД, которые распространяют на условиях открытых исходных кодов, относят MySQL [10]. При этом, при работе с данными MySQL применяют как команды SQL, так и хранимые процедуры [10].

Особенности производительности XML-RPC PHP Web-сервисов, использующих при поиске в различных объемах данных MySQL команды SQL, были изучены нами ранее в работе [6]. В тоже время подобных исследований для RESTful и SOAP PHP Web-сервисов не было проведено.

Кроме того не было проведено исследований производительности RESTful и SOAP PHP сервисов при доступе к данным MySQL с применением хранимых процедур.

**Цель статьи.** Цель данной работы - исследовать особенности производительности RESTful и SOAP PHP Web-сервисов, которые используют команды SQL и функционально подобные хранимые процедуры при поиске в данных MySQL, для выбора оптимального программного обеспечения Web-служб, работающих с СУБД MySQL. При этом для определения производительности сервисов предполагалось также разработать программу-тестер с простым интерфейсом пользователя.

**Изложение основного материала.** Для решения поставленной задачи было создано два варианта распределенных приложений, которые в своем составе имели одинаковую клиентскую часть (программа-тестер), и функционально подобные Web-сервисы (RESTful и SOAP), разработанные на основе PHP API.

Также были подготовлены объекты исследования – 7 таблиц (Data1 – Data7) БД СУБД MySQL, которые имели тип MyISAM. Как известно, БД MySQL с таблицами MyISAM обеспечивают высокую производительность операций поиска и чтения данных [11].

Кроме того, объекты исследования Data1 – Data7 имели одинаковую структуру полей (два поля – ключевое и данных), но разный объем хранимой информации  $V$ , в которой осуществлялся поиск (от 200 КБайт до 2 Мбайт, шаг – 300 КБайт).

Для определения и анализа производительности RESTful и SOAP PHP Web-сервисов мы определяли их время отклика  $\tau$  (время, которое затрачивает сервис на выполнение запроса пользователя).

Согласно [9], для определения  $\tau$  можно использовать выражение:  $\tau = T - t$ , где  $T$  – полное время выполнения запроса в распределенном приложении;  $t$  – время обдумывания пользователя (среднее время, которое проходит между получением пользователем ответа на свой запрос и отправлением нового запроса).

Определение времени отклика  $\tau$  Web-сервисов осуществлялось нами с помощью компактной программы-тестера STochno, разработанной для решения поставленной в данной работе задачи. С этой целью она получала значения  $T$  и  $t$ , при последовательном выполнении распределенным приложением двух подобных алгоритмов.

Первый из них состоял из такой последовательности действий:

1. В клиентском приложении зафиксировать время начала работы распределенного приложения.
2. Выполнить пп. 3–8 определенное число раз (значение числа определяет пользователь).
3. Сформировать параметры запроса к Web-сервису.
4. Отправить из клиентского приложения запрос.
5. В программной реализации Web-сервиса получить параметры запроса клиента.
6. С помощью команды SQL или хранимой процедуры выполнить запрос к СУБД на поиск в данных с использованием параметров из п. 3.
7. Отправить результат поиска клиенту.
8. Получить в клиентском приложении результат поиска в данных.
9. Зафиксировать время.
10. Определить время работы распределенного приложения и сохранить его значение.

Второй алгоритм представлял собой сокращенную версию первого (без выполнения пп. 4–8).

При этом запрос к каждому сервису состоял из имени таблицы данных БД MySQL, параметра поиска в ней, который в ходе эксперимента менял значение случайным образом от 1 до максимально возможного для каждого объекта исследования, а также указателя на тип обращения к СУБД (команда SQL или хранимая процедура).

Программа-тестер была написана на языке программирования Java<sup>TM</sup> и имела простой интерфейс пользователя.

Он состоял из пяти полей ввода, трех кнопок, комбинированного списка, двух переключателей, а также трех таблиц, которые использовались аналогичным образом при работе, как с RESTful, так и SOAP Web-сервисом.

В тоже время программное обеспечение, использованное в данной работе, представляло собой последние версии соответствующих программных продуктов (на момент написания статьи). Оно содержало: пакет PHP 7.1.3, сервер Apache 2.4.25 и СУБД MySQL-5.7.17.

Приложения работали на персональном компьютере, частота центрального процессора которого была равна 1,2 ГГц, а объем оперативной памяти имел значение 8 Гбайт.

При подготовке к проведению исследований производительности разработанных приложений на сервер Apache устанавливались RESTful и SOAP Web-сервисы. Сервисы осуществляли поиск в таблицах Data1 – Data7.

В ходе измерений в программе STochno в списке “Service” выбирался тип Web-сервиса (RESTful или SOAP), а переключателями “SQL” и “Procedure”, устанавливался тип запроса к данным СУБД, после чего формировалась таблица “Request” с именами

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

объектов исследования, а также максимальными значениями параметров поиска в них. С этой целью использовались поля ввода “Table” и ”Max”, а также кнопка “Enter” интерфейса пользователя. Затем в поля ввода “URI” и “Repeat” вводились URI Web-сервиса и число его обращений  $N$  к каждой таблице при поиске в их данных, соответственно. В наших исследованиях  $N = 2000$ .

Запуск тестирования осуществлялся нажатием на кнопку “Run” программы-тестера.

В процессе тестирования распределенное приложение работало с данными таблиц Data1 – Data7. При этом программа-тестер определяла значения полного времени выполнения запроса  $T$ , времени обдумывания пользователем  $t$ , при формировании запроса, а также времени отклика  $\tau$  Web-сервиса при поиске в данных. После чего в таблице “Times” приложения STchno появлялась информация о  $\tau$ ,  $t$  и  $T$ , а в таблице “Data”, значение результата выполнения последнего запроса, при поиске в данных MySQL, для каждого объекта исследования.

С помощью кнопки “Save” результаты тестирования и его параметры сохранялись в текстовом файле. Имя файла для хранения данных предварительно вводилось в поле ввода “File”.

На рис. 1 и 2 треугольниками представлены значения  $\tau$ , полученные при тестировании RESTful и SOAP PHP Web-сервисов. Черные треугольники – экспериментальные результаты для SOAP, белые – RESTful сервиса.

Как видно из этих рисунков, время отклика Web-сервисов, при поиске в данных MySQL с использованием, как команд SQL, так и хранимых процедур, возрастало при увеличении  $V$ . При этом, во всех рассматриваемых случаях, при десятикратном увеличении объема данных поиска, значения  $\tau$  возрастали на величину  $\cong 9 \cdot 10^{-3}$  с.

В тоже время экспериментальные значения времени отклика для SOAP сервиса превышали данные по  $\tau$  для RESTful сервиса, полученные при тех же объемах  $V$  и поиске с помощью как команд SQL, так и хранимых процедур, в среднем на  $4 \cdot 10^{-3}$  с и  $5 \cdot 10^{-3}$  с, соответственно.

Кроме того, использование разработанными программами хранимых процедур, вместо соответствующих команд SQL, приводило к росту  $\tau$  на  $2 \cdot 10^{-3}$  с для SOAP Web-приложения и на  $10^{-3}$  с для RESTful Web-службы.

Результаты тестирования были обработаны нами с помощью математической аппроксимации.

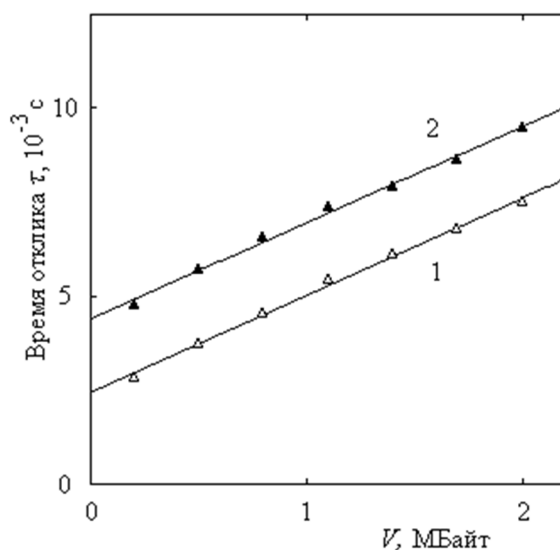


Рис. 1. Зависимости  $\tau(V)$  для RESTful и SOAP PHP Web-сервисов при поиске в данных MySQL с использованием команд SQL (прямые 1 и 2 соответственно). Треугольники на рисунке – результаты тестирования

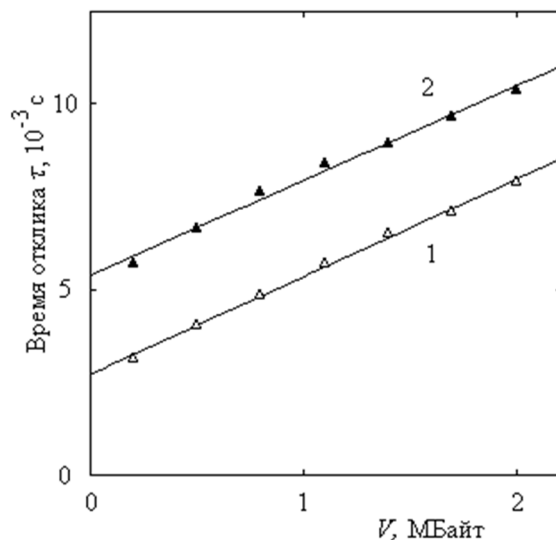


Рис. 2. Залежності  $\tau(V)$  для RESTful та SOAP PHP Web-сервісів при пошуку в даних MySQL з використанням збережених процедур (прямі 1 та 2 відповідно). Трикутники на рисунку – результати тестування

Для цих цілей була використана додаткова комп'ютерна програма, написана нами на мові програмування Java. Програма реалізовувала метод найменших квадратів [12] і дозволяла, в частині, визначати коефіцієнти лінійної регресії та середню помилку апроксимації експериментальних значень часу затримки.

При цьому передбачалося, що час затримки  $\tau$ , для Web-сервісів при пошуку в даних MySQL, може бути представлено у вигляді залежності:  $\tau = k \cdot V + b$ , де  $k$  та  $b$  – постійні коефіцієнти.

Як встановлено, при обробці результатів тестування Web-сервісів з допомогою методу найменших квадратів, для всіх досліджуваних режимів їх функціонування, середня помилка апроксимації експериментальних значень часу затримки мала величину порядку 1,5%. При цьому у функції регресії  $\tau(V)$  були позитивні коефіцієнти.

Залежності  $\tau(V)$ , отримані в результаті апроксимації даних експерименту, також наведені на рис. 1 та 2.

В той же час, як наведені на рис. 1 та 2 експериментальні значення  $\tau$ , так і залежності  $\tau(V)$ , отримані в результаті їх математичної апроксимації, вказують на те, що продуктивність RESTful Web-сервісу при пошуку в даних MySQL з обсягом  $V \leq 2,0$  МБайт, була вище, ніж у SOAP Web-службі, для всіх досліджуваних режимів їх функціонування.

**Висновки та пропозиції.** Таким чином, в цій роботі нами було виконано аналіз продуктивності RESTful та SOAP PHP Web-сервісів, які при пошуку в даних MySQL в одному режимі функціонування використовували команди SQL, в іншому – збережені процедури.

Як встановлено, час затримки сервісів  $\tau$  залежить від обсягу даних пошуку  $V$ , і при  $V \leq 2,0$  МБайт, для всіх досліджуваних випадків задовільно описується лінійними функціями  $\tau(V)$  з позитивними коефіцієнтами.

При цьому застосування в запитаннях до MySQL збережених процедур, замість команд SQL, збільшувало значення часу затримки розроблених програм та знижувало їх продуктивність.

В той же час, при пошуку в досліджуваних обсягах даних  $V$ , з використанням при запитаннях до MySQL, як команд SQL, так і збережених процедур, RESTful Web-сервіс був більш продуктивним, ніж сервіс на основі SOAP.

То есть для создания производительных PHP Web-сервисов для работы с данными MySQL целесообразно применять их реализацию на основе RESTful-технологии.

В дальнейшем предполагается провести подобные исследования с другими Web-серверами и СУБД. Кроме того, предполагается модернизировать разработанную программу-тестер для измерения производительности Web-сервисов при масштабируемых запросах.

#### Список использованных источников

1. *Bean J.* SOA and Web Services Interface Design: Principles, Techniques, and Standards / J. Bean. – Burlington, MA, USA: Elsevier Inc., 2010. – 360 p.
2. *Горбенко А. В.* Анализ особенностей создания и эксплуатации гарантоспособных сервис-ориентированных систем / А. В. Горбенко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи.* – 2013. – № 5 (64). – С. 237–242.
3. *Ernst M. D.* Detection of Web Service substitutability and composability / M. D. Ernst, R. Lencevicius // *Proceedings of the 1st International Workshop on Web Services Modeling and Testing (WS-MaTe 2006)*, June 2006, Palermo, Italy: proceedings. – 2006. – Pp. 123–135.
4. *Harrison G.* MySQL Stored Procedure Programming / G. Harrison, S. Feuerstein. – Sebastopol : O'Reilly Media, 2006. – 640 p.
5. *Performance Comparison of Web Service Engines in PHP, Java, and C* / T. Suzumura, S. Trent, M. Tatsubori, A. Tozawa, T. Onodera // *Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2008)*, 23-26 September 2008, Beijing, China: proceedings. – 2008. – Pp. 385–392.
6. *Точилин С. Д.* Продуктивність Java та PHP XML-RPC Web-служб пошуку в даних СКБД MySQL / С. Д. Точилин // *Вісник ЖДТУ.* – 2010. – № 1 (52). – С. 166–169.
7. *Mitchell L. J.* PHP Web Services / L. J. Mitchell. – Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2013. – 115 p.
8. *Sklar D.* PHP Cookbook / D. Sklar, A. Trachtenberg. – Sebastopol, CA: O'Reilly Media, 2014. – 820 p.
9. *Menasce D. A.* Capacity Planning for Web Services: metrics, models, and methods / D. A. Menasce, V. Almeida. – Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001. – 608 p.
10. *Welling L.* PHP and MySQL Web development / L. Welling, L. Thomson. – Indianapolis : Sams Publishing, 2005. – 946 p.
11. *Гольцман В. И.* MySQL 5.0. Библиотека программиста / В. И. Гольцман. – СПб. : Питер, 2010. – 253 с.
12. *Кремер Н. Ш.* Теория вероятностей и математическая статистика / Н. Ш. Кремер. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 543 с.

#### References

1. Bean, J. (2010). *SOA and Web Services Interface Design: Principles, Techniques, and Standards*. Burlington, MA, USA: Elsevier Inc.
2. Gorbenko, A.V. (2013). Analiz osobennostei sozdaniia i ekspluatatsii garantospobnykh servis-orientirovannykh sistem [Analysis of dependable service-oriented systems development features]. *Radioelektronni i kompiuterni systemy – Radioelectronic and computer systems*, no. 5 (64), pp. 237–242 (in Russian).
3. Ernst, M.D., Lencevicius, R. (2006). Detection of Web Service substitutability and composability. *Proceedings from 1st International Workshop on Web Services Modeling and Testing (WS-MaTe 2006)*. (Italy, Palermo, June, 2006), pp. 123–135.
4. Harrison, G., Feuerstein S. (2006). *MySQL Stored Procedure Programming*. Sebastopol: O'Reilly Media.
5. Suzumura, T., Trent, S., Tatsubori, M., Tozawa, A., Onodera, T. (2008). Performance Comparison of Web Service Engines in PHP, Java, and C. *Proceedings from IEEE International Conference on Web Services (ICWS 2008)*. (China, Beijing, September 23-26, 2008), pp. 385–392.
6. Tochilin, S.D. (2010). Produktivnist Java ta PHP XML-RPC Web-sluzhb poshuku v danykh SKBD MySQL [Productivity of Java and PHP Web services of search in the DBMS MySQL data]. *Visnyk Zhytomyrskoho derzhavnoho universytetu – The journal of zhytomyr state technological university*, no. 1(52), pp. 166-169 (in Ukrainian).
7. Mitchell, L.J. (2013). *PHP Web Services*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.
8. Sklar, D., Trachtenberg, A. (2014). *PHP Cookbook*. Sebastopol, CA: O'Reilly Media.

9. Menasce, D.A., Almeida, V. (2001). *Capacity Planning for Web Services: metrics, models, and methods*. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
10. Welling, L., Thomson, L. (2005). *PHP and MySQL Web development*. Indianapolis: Sams Publishing.
11. Goltzman, V.I. (2010). *MySQL 5.0. Biblioteka programmista [MySQL 5.0. Library of the programmer]*. Saint-Petersburg: Piter (in Russian).
12. Kremer N.S. (2002). *Teoriia veroiatnostei i matematicheskaia statistika [Theory of probabilities and mathematical statistics]*. Moscow: UNITI-DANA (in Russian).

Sergiy Tochilin

## PERFORMANCE OF RESTful AND SOAP PHP WEB SERVICES FOR DATA SEARCH IN MySQL

**Urgency of the research.** The service oriented architecture (SOA) is widely used in terms of constructing distributed computer systems. Web service technologies are applied for practical implementation of the system with SOA.

One of the essential requirements to Web services is the performance of functioning, which depends on their software implementation.

**Target setting.** Web services are used to access information stored in DBMS databases posted on websites.

The issue of optimum software selection for Web service implementation of information with real-time data access is urgent in this connection.

**Actual scientific researches and issues analysis.** While accessing data, Web services use inquiries to DBMS, which are usually implemented as SQL commands.

In order to enhance the efficiency of operation of Web applications working with data, stored procedures and functions of DBMS are used instead of SQL commands.

**Uninvestigated parts of general matters.** No investigations of performance of RESTful and SOAP PHP Web services that during the access to MySQL data with different volumes of stored information used SQL commands in one function mode and stored procedures in another one were conducted.

**The research objective.** To define and analyze the performance of RESTful and SOAP PHP Web services using SQL commands and functionally similar stored procedures for the search of MySQL data for the selection of optimum software of Web services working with MySQL DBMS.

**The statement of basic materials.** As it turned out, the use of stored procedures instead of SQL commands by RESTful and SOAP PHP Web services when inquiring to MySQL for the search of data reduced their performance.

At the same time while searching in the investigated volumes of data  $V \leq 2$  MByte, when applying both SQL commands and stored procedures in inquiring to MySQL, RESTful Web service was more performing than SOAP PHP service.

**Conclusions.** The particularities of performance of RESTful and SOAP PHP services when searching in MySQL data with the use of both SQL commands and stored procedures have been established. While searching in MySQL data, RESTful Web service was more performing in all functioning modes than SOAP PHP service.

**Key words:** performance, SOAP, RESTful, Web service, MySQL.

Сергій Точилін

## ПРОДУКТИВНІСТЬ RESTful ТА SOAP PHP WEB-СЕРВІСІВ ПРИ ПОШУКУ В ДАНИХ MySQL

Розроблені RESTful і SOAP PHP Web-сервіси, які використовують команди SQL та збережені процедури при запитах до MySQL на пошук у даних, а також Java програма-тестер для визначення їхньої продуктивності. З допомогою створених програм отримані дані про продуктивність Web-сервісів при обробці різних обсягів інформації, яка зберігається в базі даних MySQL. Результати досліджень, отримані для RESTful та SOAP Web-сервісів, вказують на більш високу продуктивність RESTful сервісу при пошуку в даних MySQL з використанням як команд SQL, так і збережених процедур. У той час при звертанні Web-сервісів до даних MySQL з використанням збережених процедур, замість команд SQL, їхньої продуктивність знижувалася.

**Ключові слова:** продуктивність; SOAP; RESTful; Web-сервіс; MySQL.

**Точилін Сергій Дмитрієвич** – кандидат фізико-математических наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж, Запорізький національний технічний університет (ул. Жуковського, 64, г. Запоріжжя, 69093, Україна).

**Точилін Сергій Дмитрович** – кандидат фізико-математических наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем та мереж, Запорізький національний технічний університет (вул. Жуковського, 64, м. Запоріжжя, 69093, Україна).

**Tochilin Sergiy** – PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer Systems and Networks, Zaporizhzhya National Technical University (64 Zhukovsky Str., 69063 Zaporizhzhia, Ukraine).

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

**Scopus Author ID:** 6602607112

*Volodymyr Kazymyr, Andrii Mokrohuz, Mykola Moshel*

## MINIMAL HTTP HEADER FOR TRAFFIC CRITICAL APPLICATIONS

**Urgency of the research.** Every year amount of different mobile devices has been growing. Mobile devices are not only smartphones, laptops and tablets. Many single board computers appeared alongside with IoT (internet of things) direction, which allows connecting anything to the Internet. Amount of mobile devices exceeded amount of desktop computers in 2013. Amount of traffic which mobile devices transfer per month was  $7 \cdot 10^{18}$  bytes in 2016. This number will only grow and will reach  $10.8 \cdot 10^{18}$  bytes in 2017. There is no distinction between web applications for mobile devices and desktop computers anymore. Amount of the web applications have been growing every year as well.

**Target setting.** We propose to use minimum possible configuration of the HTTP header to decrease the data transferred between client and server software applications. This can be useful especially for mobile devices, which work over 3G and 4G networks with limited battery life. Theoretical minimum header configuration was compared against real data, which has been obtained during the experiment. The results of the comparison give us the information about possibility of decreasing HTTP traffic. The fact that text and image information headers are the biggest tells us to concentrate the attention on these two types of information.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Many scientists from all over the world try to come up with different solutions to improve transmission of HTTP traffic in mobile networks. HTTP is scalable application layer protocol which allows high flexibility in terms of data transferring. HTTP is easy to use; it is supported by popular programming languages. Developers choose to use HTTP for creation of different purpose applications. Mostly HTTP is used for creation of web application and application which work in the Internet. With development of 3G and 4G networks, IoT (Internet of Things) gains its popularity, thus many devices can be communicate over the Internet.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There are many directions to decrease amount of HTTP traffic. However, investigation of headers of HTTP is not considered as one of the methods of decreasing amount of the HTTP traffic.

**The research objective.** We decided to concentrate our attention on HTTP headers to address the issue of HTTP traffic growth. Previous researches have shown that HTTP header can contain unnecessary data, which can be eliminated [3]. In the paper, we compare theoretically possible minimum configuration of HTTP header with HTTP headers received during the experiment. Many of previous researches are concentrated on HTTP protocol itself. However, we concentrate our attention on data, which is transferred using HTTP. We used web debugging tool to investigate the HTTP header.

**The statement of basic materials.** Under minimal HTTP header configuration, we understand amount of bytes required to deliver the information over HTTP. According to previous researches, HTTP/1.1 is the most popular version of the HTTP, which is used nowadays. All data captured during our experiment was transferred and received over HTTP/1.1 as well. Request and response message formats differ from each other.

**Conclusions.** In the paper, we identified the minimal HTTP header configuration, which can still be used to transfer valid HTTP messages. Our experimental data shows that header of the real HTTP traffic exceeds the minimal configuration of HTTP header.

However, we understand, that not every type of application, which work via HTTP, require a small HTTP header. Nevertheless, applications, which are installed and running on the mobile devices require additional attention to the amount of an HTTP traffic transferred.

**Key words:** HTTP; information; mobile device; protocol.

**Urgency of the research.** Every year amount of different mobile devices has been growing. Mobile devices are not only smartphones, laptops and tablets. Many single board computers appeared alongside with IoT (internet of things) direction, which allows connecting anything to the Internet. Amount of mobile devices exceeded amount of desktop computers in 2013. Amount of traffic which mobile devices transfer per month was  $7 \cdot 10^{18}$  bytes in 2016 [1]. This number will only grow and will reach  $10.8 \cdot 10^{18}$  bytes in 2017 [1]. There is no distinction between web applications for mobile devices and desktop computers anymore. Amount of the web applications have been growing every year as well.

Mobile devices' hardware is relatively powerful nowadays. One board computers or even smartphones usually have four cores processors and couple gigabytes of RAM. These allow performing all kind of tasks by mobile devices. However, the battery life of a mobile device can be limiting factor which influences on performance of mobile devices. The cost of 3G or 4G networks also makes usage of mobile devices expensive, when big volume of traffic is involved.

**Target setting.** HTTP is one of the most popular application layer protocols in the Internet [2]. Thus, investigation of HTTP traffic is a priority in the paper. Header of HTTP response or request can potentially carry not necessary information. This information creates overhead and can be relatively big and cannot be neglected. Header size can reach 13.88 % while sending text information and 5.46 % for image information [3].

In the paper we propose to use minimum possible configuration of the HTTP header to decrease the data transferred between client and server software applications. This can be useful especially for mobile devices, which work over 3G and 4G networks with limited battery life. Theoretical minimum header configuration was compared against real data, which has been obtained during the experiment. The results of the comparison give us the information about possibility of decreasing HTTP traffic. The fact that text and image information headers are the biggest tells us to concentrate the attention on these two types of information.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Many scientists from all over the try to come up with different solutions to improve transmission of HTTP traffic in mobile networks. HTTP is scalable application layer protocol which allows high flexibility in terms of data transferring. HTTP is easy to use; it is supported by popular programming languages. Developers choose to use HTTP for creation of different purpose applications. Mostly HTTP is used for creation of web application and application which work in the Internet. With development of 3G and 4G networks, IoT (Internet of Things) gains its popularity, thus many devices can be communicate over the Internet.

R. Chandran and S. Manoharan investigated some web application in New Zealand and they found out that despite of the fact that compression is available for HTTP 22 % of the web sites does not use compression. Moreover, 52 % of the sites explicitly prevent caching by supplying directives such as no-store or expiry times in the past [4].

There are many methods how to decrease HTTP traffic one of them is compression of HTTP traffic. Timothy J. McLaughlin considered drawbacks and benefits of HTTP traffic compression. His experiments show average 27 % byte reduction is possible for the average web site [5]. Compression is supported by almost all modern web browsers and web servers, however sometimes it is not used as it was shown by R. Chandran and S. Manoharan. Moreover, browsers are not the only clients which exist. Developers need to write their own applications, which can use HTTP(S), so compression is not supported by default by these clients and developers need to implement it.

Ali Sehati and Majid Ghaderi looked into the problem of decreasing of a web page load time. They created WebPro a proxy based solution and confirmed that it provides delay reduction form 5 % to 51 % for a verity of web sites [6]. According to the experiment's results they have improved we browsing on mobile devices. They improved user experience, however their solution does not decrease the amount of traffic transferred between a client and a server. Despite the fact that user experience using web on mobile devices has been improved, the price of the traffic transferred stays the same in case of 3G and 4G networks.

According to the ICT report the price of mobile networks varies between 4.7 \$ in Australia and 85 \$ in the USA per 500 MB of data. In Ukraine 500 MB of data cost 13.5 \$ [7]. HTTP is the most popular application layer protocol in the internet [2]. Amount of data transferred by mobile devices grows every year. Thus, the task of decreasing the amount of traffic transferred without losing useful data has become very important nowadays.

There are many methods how performance of HTTP can be improved, for instance:

- Minimize number of HTTP redirects
- Reduce roundtrip times
- Eliminate unnecessary resources
- Cache resources on the client
- Compress assets during transfer
- Eliminate unnecessary request bytes
- Parallelize request and response processing
- Apply protocol-specific optimizations



**The research objective.** We decided to concentrate our attention on HTTP headers to address the issue of HTTP traffic growth. Previous researches have shown that HTTP header can contain unnecessary data, which can be eliminated [3]. In the paper, we compare theoretically possible minimum configuration of HTTP header with HTTP headers received during the experiment. Many of previous researches are concentrated on HTTP protocol itself. However, we concentrate our attention on data, which is transferred using HTTP. We used web debugging tool to investigate the HTTP header [8].

**The statement of basic materials.** Under minimal HTTP header configuration, we understand amount of bytes required to deliver the information over HTTP. According to previous researches, HTTP/1.1 is the most popular version of the HTTP, which is used nowadays [2]. All data captured during our experiment was transferred and received over HTTP/1.1 as well. Request and response message formats differ from each other. Request format is presented on the Fig. 1.

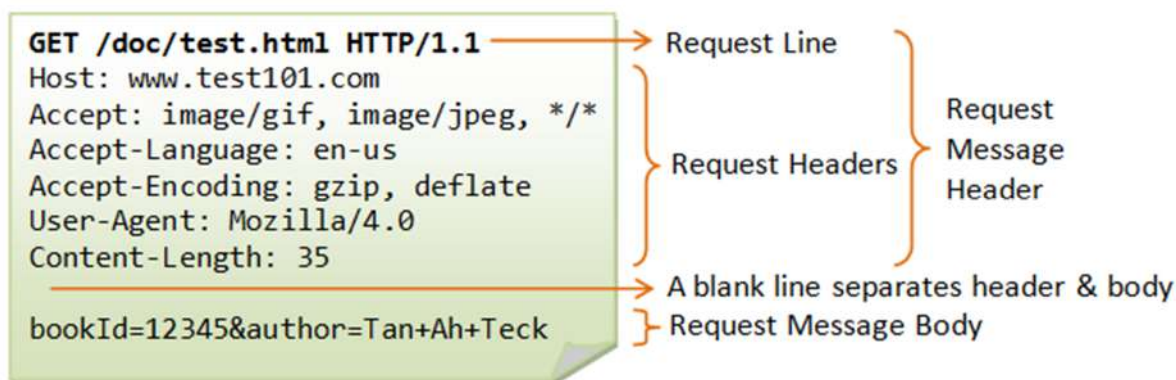


Fig. 1. HTTP request format [9]

The HTTP response format is presented on Fig. 2. Fig. 1 and Fig. 2 do not represent the minimum header required. According to the RFC 2616 [10] the most common form of Request-URI is that used to identify a resource on an origin server or gateway. In this case the absolute path of the URI MUST be transmitted (see section 3.2.1, abs path) as the Request-URI, and the network location of the URI (authority) MUST be transmitted in a Host header field. For example, a client wishing to retrieve the resource above directly from the origin server would create a TCP connection to port 80 of the host "www.w3.org" and send the lines:

**GET /pub/WWW/TheProject.html HTTP/1.1**  
**Host: www.w3.org**

These two lines presented above we can define as a minimal HTTP request header configuration. The amount of bytes required is 24 + resource path + host.

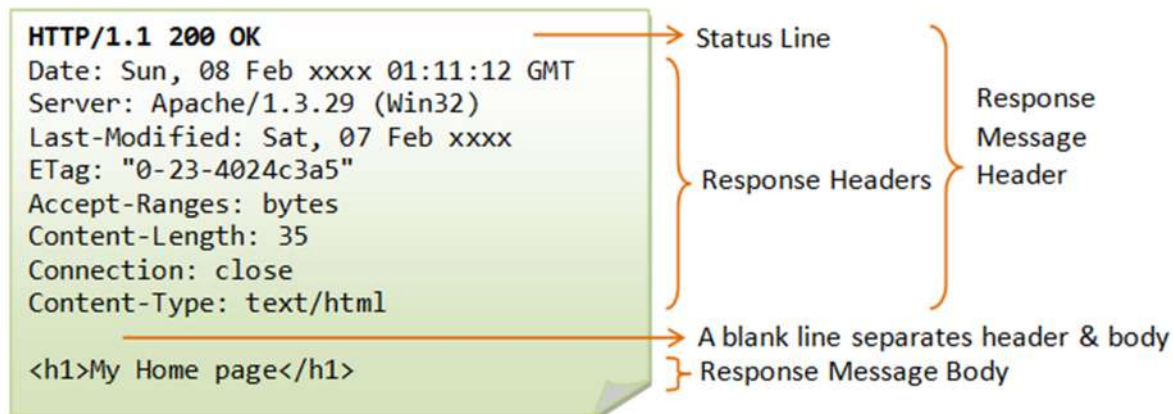


Fig. 2. HTTP response format [9]

In the section 6 of RFC 2616 [11] required lines for HTTP header response are the next:

***Status-Line = HTTP-Version SP Status-Code SP Reason-Phrase CRLF***

Server can also transfer additional header fields presented on the Fig. 3 [11].

```

response-header = Accept-Ranges           ; Section 14.5
                  | Age                   ; Section 14.6
                  | ETag                  ; Section 14.19
                  | Location               ; Section 14.30
                  | Proxy-Authenticate    ; Section 14.33

                  | Retry-After           ; Section 14.37
                  | Server                 ; Section 14.38
                  | Vary                  ; Section 14.44
                  | WWW-Authenticate     ; Section 14.47

```

Fig. 3. HTTP response header fields [11]

From stated above the minimal amount of bytes required to represent minimal response header can be **18 bytes**.

We needed some real traffic from different web applications, which use HTTP(S). Thus, we set up an experiment to gather HTTP packets. HTTP packets contains useful for user data and some technical data to make packet deliverable to its destination. Fiddler web debugging tool [8] was used to collect the http traffic on user's computers. Users' PCs were running Windows 7, 8.1 or 10. There were no special rules for experiment. Users lunched the Fiddler application on their computers and were acting as usual during working day (7 hours). Traffic has been provided by users from Ukraine and the United Kingdom. More than 30 000 HTTP packets were captured during the experiment. This experiment was not targeting to capture any specific type of data. We are interested in headers of HTTP packets and types of data, which was transferred by the applications.

Table 1

*Amount of HTTP packets*

Data type	Amount of packages
Text	23028
Image	7592
Sound	96
Video	8
Total	30724

Text and image HTTP packets are the most transferable data types in the internet which is also confirmed by Pengcheng Jiang; Fang Liu; Huan Wang; Chenyu Li in the research of HTTP traffic [12]. Moreover, the size of the HTTP header in the packets for image and text data is relatively big as it can be seen on Fig. 4.

Most information transferred in text format via HTTP protocol. Sometimes HTTP headers contain information, which can be removed so the client or server still can receive a HTTP message.

We calculated average HTTP header size for text type of information and it is 890 bytes. For image type of information, transferred via HTTP, the average header's size is 1007 bytes.

This numbers exceeds minimal header configuration of the HTTP header which was defined for request 24 + resource path + host and for response 18 bytes.



Fig. 4. Ratio of packets' body size to header size by type of information

**Conclusions and propositions.** In the paper, we identified the minimal HTTP header configuration, which can still be used to transfer valid HTTP messages. Our experimental data shows that header of the real HTTP traffic exceeds the minimal configuration of HTTP header.

However, we understand, that not every type of application, which work via HTTP, require a small HTTP header. Nevertheless, applications, which are installed and running on the mobile devices require additional attention to the amount of an HTTP traffic transferred.

Future work can be carried out in the way of designing an algorithm and piece of software, which allow reducing size of the HTTP header for traffic critical applications. Traffic critical applications are the application, which rely on battery life and work over wireless networks like 3G, 4G etc., where the cost of traffic is high.

### References

1. *Statistics on mobile usage and adoption to inform your mobile marketing strategy*. Retrieved from: <http://www.smartinsights.com/mobile-marketing/mobile-marketing-analytics/mobile-marketing-statistics/>, [Oct. 15, 2015].
2. Kazylyr, V., and A. Mokrohuz. "Selecting a base application layer protocol to transfer data in the client-server architecture." *Технічні науки та технології* 3 (2016): 182-187.
3. V. Kazylyr, A. Mokrohuz. "In HTTP(S) potential traffic overhead for mobile devices", *International Journal "Information Theories and Applications"*, Vol. 23, Number 4, 2016, pp. 383-393.
4. R. Chandran and S. Manoharan. "Performance analysis of New Zealand websites using HTTP header values," *Proceedings of 2011 IEEE Pacific Rim Conference on Communications, Computers and Signal Processing*, Victoria, BC, 2011, pp. 25-30.
5. Timothy J. McLaughlin (2002). "The Benefits and Drawbacks of HTTP Compression", Department of Computer Science and Engineering, Lehigh University, 19 Memorial Drive West, Bethlehem, PA 18015.
6. Sehati and M. Ghaderi, "WebPro: A proxy-based approach for low latency web browsing on mobile devices," *2015 IEEE 23rd International Symposium on Quality of Service (IWQoS)*, Portland, OR, 2015, pp. 319-328.
7. *ICT Facts and Figures 2016*. World Telecommunication/ICT Indicators database 2016 (20th Edition/December 2016). Retrieved from: <http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Pages/publications/wtid.aspx>.

8. *Fiddler*. The free web debugging proxy for any browser, system or platform. Retrieved from: <http://www.telerik.com/fiddler>, [Oct. 26, 2015].
9. *HTTP* (HyperText Transfer Protocol). Retrieved from: [https://www.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/webprogramming/HTTP\\_Basics.html](https://www.ntu.edu.sg/home/ehchua/programming/webprogramming/HTTP_Basics.html), [Oct. 26, 2016].
10. *Part of Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1*. RFC 2616 Fielding, et al. Retrieved from: <https://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616-sec5.html#sec5>, [May. 21, 2017].
11. *Part of Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1*. RFC 2616 Fielding, et al. Retrieved from: <https://www.w3.org/Protocols/rfc2616/rfc2616-sec6.html>, [May. 21, 2017].
12. *Pengcheng Jiang; Fang Liu; Huan Wang; Chenyu Li*, "Characterizing HTTP Traffic of Mobile Internet Services in Provincial Network," in Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2014 Sixth International Conference on , vol. 1, no., pp. 78-81, 26-27 Aug. 2014.

*Володимир Казимир, Андрій Мокрогуз, Микола Мошель*

### МІНІМАЛЬНИЙ РОЗМІР ЗАГОЛОВКУ НТТР ДЛЯ ДОДАТКІВ

*Протокол рівня додатків HTTP забезпечує дуже високу масштабованість і може використовуватися для передачі будь-якого типу інформації між клієнтом і сервером. HTTP має заголовок відповіді / запиту, який може бути розширений відповідно до технічної інформації, яку потрібно передати від клієнта до сервера. Ця інформація може бути зайвою для передачі в кожному запиті / відповіді. У статті ми визначили мінімальну конфігурацію заголовка відповіді / запиту, що зменшити об'єм технічної інформації. Мобільні пристрої мають обмежені ресурси, такі як заряд батареї акумулятора і передача даних через мобільні мережі, що може бути дорогим у випадку 3G або 4G. Додаткові витрати на трафік слід уникати або зменшувати, коли використовуються мобільні пристрої. Ми провели експеримент для збору запитів / відповідей HTTP та визначення різниці між загальним заголовком HTTP запиту / відповіді та мінімальною теоретичною конфігурацією заголовка.*

*Ключові слова:* HTTP; інформація; мобільний пристрій; протокол.

*Владимир Казимир, Андрей Мокрогуз, Николай Мошель*

### МИНИМАЛЬНЫЙ РАЗМЕР ЗАГОЛОВКА НТТР ДЛЯ ПРИЛОЖЕНИЙ

*Протокол уровня приложений HTTP обеспечивает очень высокую масштабируемость и может использоваться для передачи любого типа информации между клиентом и сервером. HTTP имеет заголовок ответа / запроса, который может быть расширен в соответствии с технической информацией, которую нужно передать от клиента к серверу. Эта информация может быть лишней для передачи в каждом запросе / ответе. В статье мы определили минимальную конфигурацию заголовка ответа / запроса чтобы уменьшить объем технической информации. Мобильные устройства имеют ограниченные ресурсы, такие как заряд батареи аккумулятора и передача данных через мобильные сети, может быть дорогим в случае 3G или 4G. Дополнительные расходы на передачу данных следует избегать или уменьшать, когда используются мобильные устройства. Мы провели эксперимент для сбора запросов / ответов HTTP и определения разницы между общим заголовком HTTP запроса / ответа и минимальной теоретической конфигурацией заголовка.*

*Ключевые слова:* HTTP; информация; мобильное устройство; протокол.

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Казимир Владимир Викторович** – доктор технических наук, профессор, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

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

**Mokrohuz Andrii** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Мокрогуз Андрій Олександрович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Мокрогуз Андрей Александрович** – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

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

**Moshel Mykola** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Мошель Микола Васильович** – доктор технічних наук, професор, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Мошель Николай Васильевич** – доктор технических наук, профессор, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

*Pavol Liptai, Marek Moravec, Ján Zbojovský*

## USING OF SOUND VISUALISATION TECHNIQUES FOR IDENTIFICATION AND ANALYSIS OF VEHICLE NOISE SOURCES

**Urgency of the research.** *The use of continuous measurement on the roads and highways with noise visualization techniques can in the future lead to increasing road safety. Central computer system could for example, evaluate the information continuously and the feedback would have warned drivers, through their mobile phones or GPS, to replace tires in the nearest dealer or car service. Vehicles fault diagnosis is currently carried out by different devices in car services. In terms of increasing the efficiency, diagnostic methods can be extended for noise visualization techniques.*

**Target setting.** *Using of measuring devices (for noise visualization) in car services for faster detection of faults and damaged parts as well as based on the measured values of noise pressure level, could be evaluated, if the tires are still safe or not.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Acoustic cameras and various noise visualization techniques are implemented to manufacturing process of passenger car manufacturers. Their use is for detecting errors and for reduction of engine noise and its parts as well as car interior.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *This article provides only partial research and conclusions. Philosophy, to use this noise visualization technique in many cases is different.*

**The research objective.** *The aim of this study was to demonstrate the differences in sound levels between two vehicles Skoda Octavia at different speeds at the same road. Partial output is a frequency analysis and identification of dominant sound sources in the engine space of VW Golf 1.4 vehicle.*

**The statement of basic materials.** *The methods of dynamic visualization of noise are used all around the world. In our case, we used the acoustic camera to visualize and identify the sound sources of moving vehicle as well sources of noise in the engine space.*

**Conclusions.** *It has been found that vibration from the engine are transmit by chassis to the interior of vehicle and cause uncomfortable noise. In the future, we expect the use of such measuring devices in car services for faster detection of faults and damaged parts. When passing vehicles and higher speeds, the biggest noise, the pressure wave in the contact tire-road is causing. Differences in noise pressure levels are mainly due to weight, quality of tires, aerodynamics and the shape and size of the tread.*

**Key words:** *vehicle; identification; frequency; measurements, noise.*

**Introduction.** The main task of the sound engineering is optimal adaptation of vehicle noise on subjective needs of its users. Although most vehicle transmission noises relate to internal parts and cannot be seen, their behavior and sound frequency always deal with a moving part according to engine rpm or pressure. Other worn vehicle parts can mimic the noise or feel of faulty transmission parts, so it becomes important how to identify noises specific to certain problems [1]. Vibration is the variation or displacement of a body with respect to specific reference position with time when displacement is alternatively greater or smaller than reference. Harshness is defined as vibration perceived actually and audibly produced by interaction of the tyre with road irregularities and vibrations of the structure and components [2]. Vibrations in engine are generated due to the reciprocating mechanism used for converting the energy into rotary motion. The engine vibrations produce combustion and reciprocating and rotational forces. Noise and vibration in driveline are a consequence power transmission from engine to wheels. The various sources are transmission gear noise, drive and propeller shaft, axle noise, tyre noise, aerodynamic noise, wind noise and interior noise. Tyre noise is due to tribology between tyre and road. Tire is excited by several means, which include non-uniform wear, radial or lateral run-out, road roughness, road surface irregularities, road surface discontinuities that induces impacts, bumps etc, which contribute to noise and vibration of automobiles [3].

### 1. Experimental part

To measure and visualize vehicle noise, we used acoustic camera. Used acoustic camera is based on beamforming method and conventional delay-and-sum beamforming in the time domain (see Fig. 1). Time domain delay-and-sum is done by separately delaying each microphone signal, making them align before summation and normalization. Acoustic camera currently uses the time domain delay-and-sum mainly because of the faster processing speed and new signal processing algorithms [4; 5].



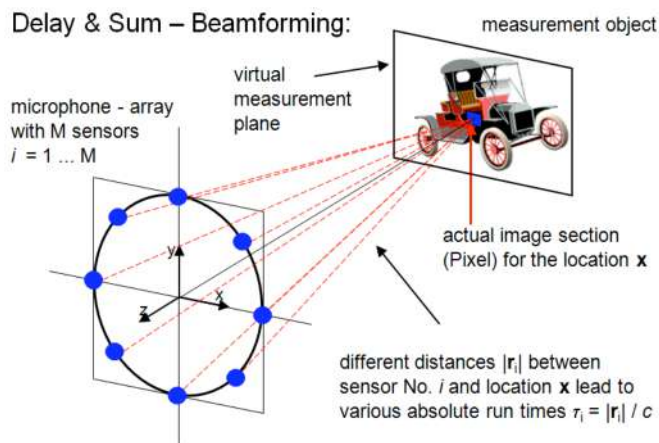


Fig. 1. Delay-sum beamforming method of the acoustic camera [4;5]

**Measurement of passing vehicles**

Measurement was realized for two passenger vehicles, directly Škoda Octavia 1.4 (Fig. 2) and Škoda Octavia 1.6i (Fig. 3). Speed of the vehicle in the measurement position was 30, 40 and 50 km/h. Passing vehicles was measured in the perpendicular to the microphone array. Measurement was carried out under relatively favourable conditions, air temperature 11°C, sunny, no wind. We used ring antenna, which consists of 48 microphones and one web camera. Distance of measured object and the antenna was 10 m. Measurement time record was set at 8 seconds. NoiseImage program is designed for process and analysis of measured data. In this program can be calculate outputs as time sound record (Fig. 4), frequency spectrum, spectrogram (Fig. 5) and sound images and movies.



Fig. 2. Noise emissions of Škoda Octavia 1.4 (gear engaged 4, speed 50 km/h)

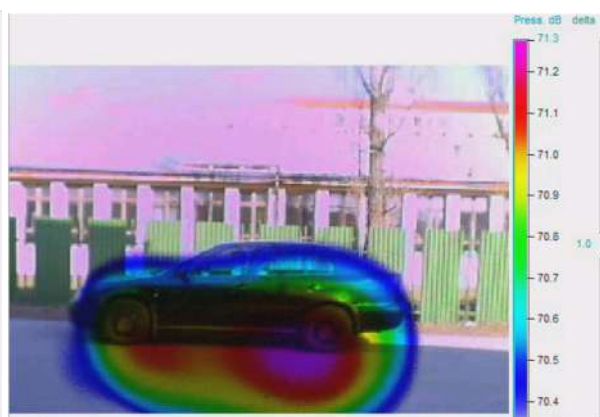


Fig. 3. Noise emissions of Škoda Octavia 1.6i (gear engaged 4, speed 50 km/h)

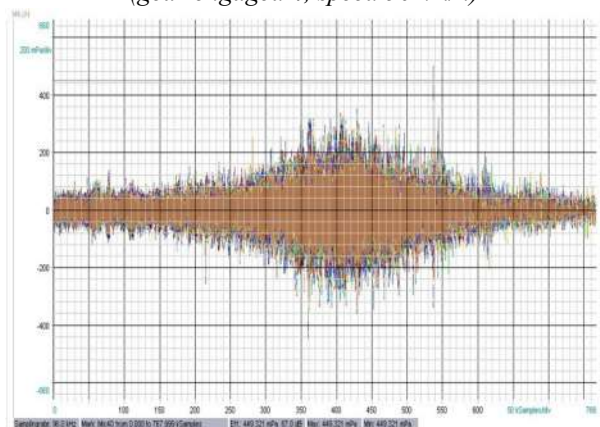


Fig. 4. Time sound record of passing vehicle

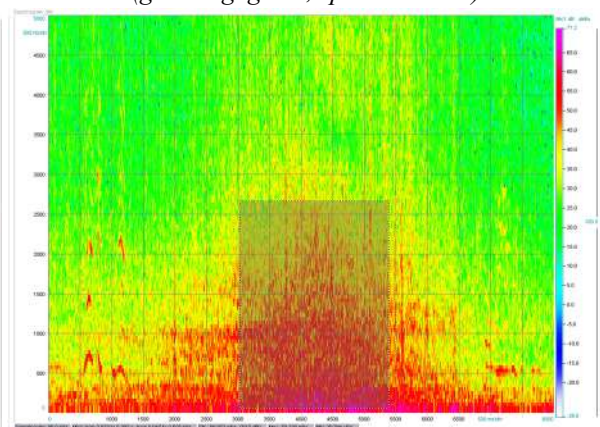


Fig. 5. Spectrogram of passing vehicle

**Measurement in the engine space**

Measurement was realized on passenger vehicle Volkswagen Golf 1390 cm<sup>3</sup>, 55 kW. Location of ring antenna was 1 m from the engine, see Fig. 6. Measuring time was set to 8 seconds. The measurements were performed in three variations, specifically:

- at engine idling speed,
- at 2000 rpm of idling speed,
- at variables rpm of idling speed (from idling speed to 2000 rpm idling speed).



Fig. 6. Location of ring antenna from the engine space

**2. Results and discussion**

When moving the vehicles it is evident from Fig. 2 and Fig.3 that the greatest noise of passing car is emitted on contact of the tire with the road. This is caused by the pressure wave which is generated by the contact of the road and the tires. Similarly results describes also by the authors v [6]. Acting forces on the road when passing a vehicle are vertical, horizontal and dynamic. The results and the comparison of sound pressure levels of passing vehicles Škoda Octavia 1.4 (Auto 1) and Škoda Octavia 1.6i (Auto 2) are stated in the Table and Fig. 7.

Table

*Sound pressure levels of the comparison vehicles*

Sound pressure level [dB]			
Gear selected	Speed of passing vehicles [km/h]	Auto 1	Auto 2
2	30	67.6	66.6
3	40	75.0	69.8
4	50	75.7	70.3

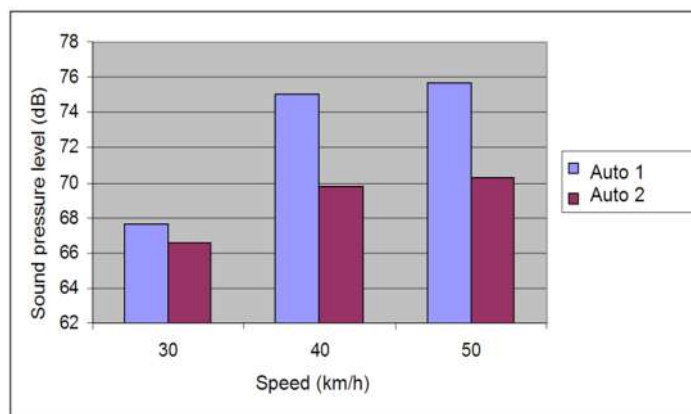


Fig. 7. Sound pressure levels depending on the speed of passing vehicles

The quality of the road had the same properties and the differences in sound pressure levels are associated primarily with the quality of the tires, different composition and age.

The results of measurements in the engine space is primarily for identify of dominant frequency bands and frequencies. With analyzing the frequency spectrum (Fig. 8) were selected the most dominant frequency bands for identifying of problematic noise sources. Acoustic images were processed for frequency bands from 195 Hz to 207 Hz, see Fig. 9, from 718 Hz to 746 Hz, see Fig. 10, from 990 Hz to 1000 Hz, see Fig. 11 and from 2900 Hz to 3100 Hz, see Fig. 12. The resulting acoustic images were processed only for variant at 2000 rpm of idling speed.

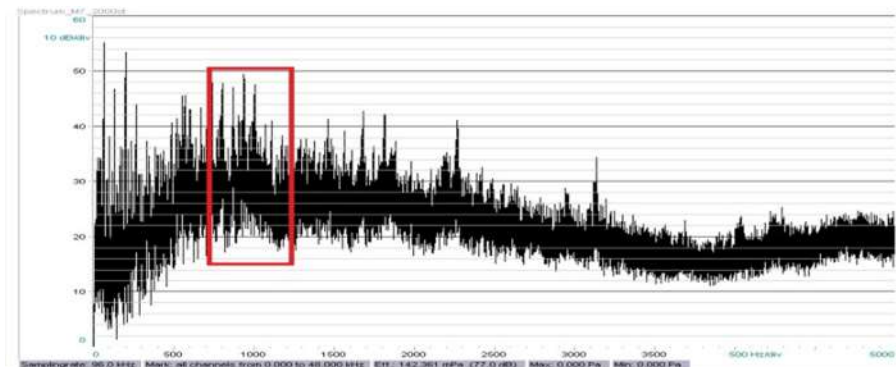


Fig. 8. Frequency spectrum of the variant - 2000 rpm of idling speed

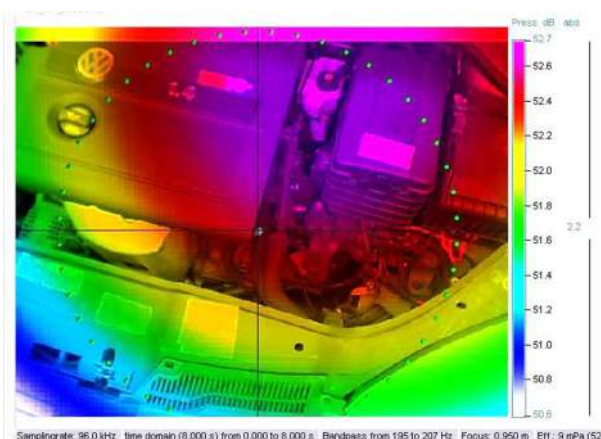


Fig. 9. Acoustic image from 195 to 207 Hz

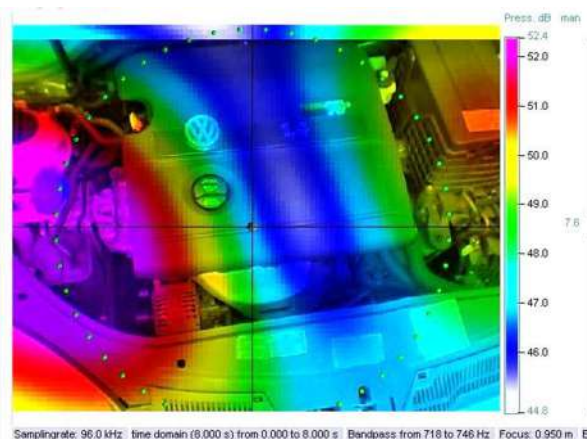


Fig. 10. Acoustic image from 718 to 746 Hz

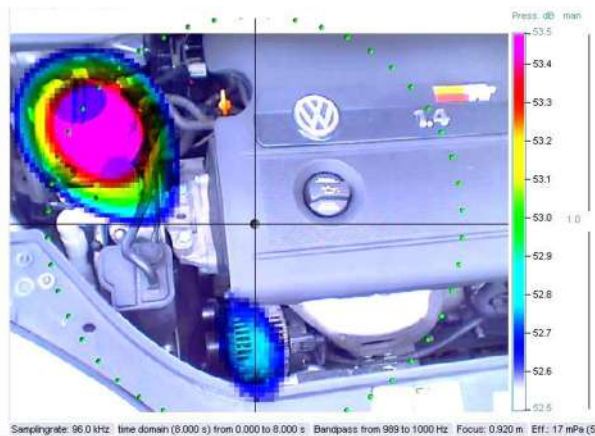


Fig. 11. Acoustic image from 989 to 1000 Hz

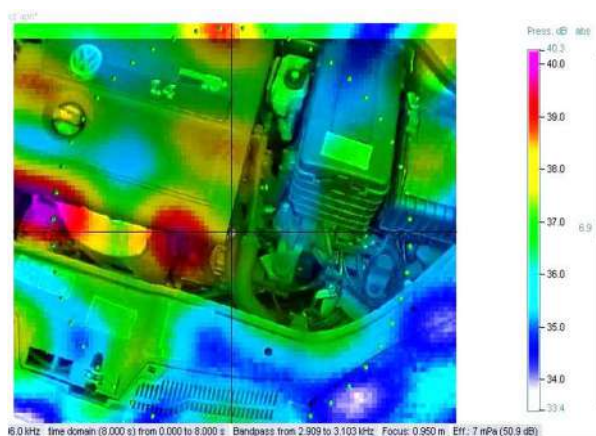


Fig. 12. Acoustic image from 2900 to 3100 Hz

From the presented acoustic images can be visually identified the noise sources, such as vibration of the engine block, aerodynamic noise of the air intake, belt drive system which are not in one plane, pulleys are strongly stretched, alternatively various resonance effects.

The noise pressure level at 2000 rpm idling speed amounted to 71.2 dB compared to 48.5 dB at idling speed. These calculated values are valid for the frequency range 0-24 kHz. All noise pressure levels are presented as unweighted, ie without weighting filter A.

The results of measurements at variables rpm, showed the occurrence of tonal component in the vicinity of 120 Hz frequency (see Fig. 13).



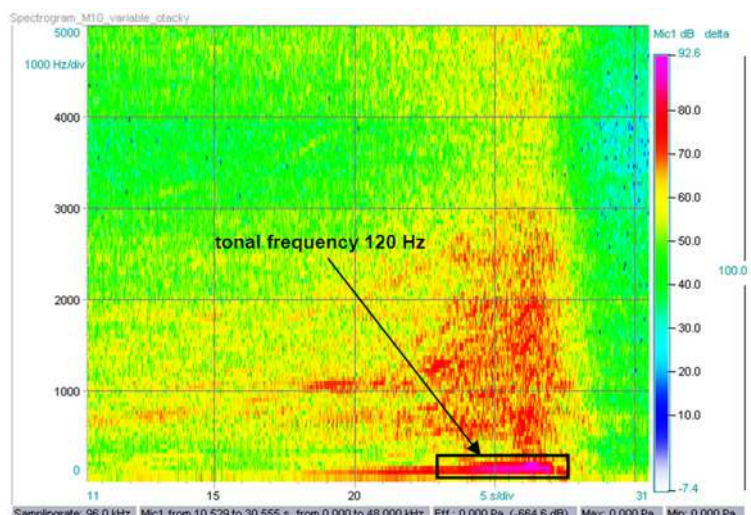


Fig. 13. Spectrogram with selected tonal frequency

**Conclusion.** It is possible used of visualisation techniques to localize a sound source of engine parts. Then can determine the sources of defects and take measures to eliminate them. It has been found that vibration from the engine are transmit by chassis to the interior of vehicle and cause uncomfortable noise. Currently, acoustic cameras and various noise visualization techniques are implemented to manufacturing process of passenger car manufacturers. Their use is for detecting errors and for reduction of engine noise and its parts as well as car interior. In the future, we expect the use of such measuring devices in car services for faster detection of faults and damaged parts.

When passing vehicles and higher speeds, the biggest noise, the pressure wave in the contact tire-road is causing. Differences in noise pressure levels are mainly due to weight, quality of tires, aerodynamics and the shape and size of the tread. The use of continuous measurement on the roads and highways with noise visualization techniques can in the future lead to increasing road safety. Based on the measured values of noise pressure level, could be evaluated, if the tires are still safe or not. Central computer system could for example, evaluate the information continuously and the feedback would have warned drivers, through their mobile phones or GPS, to replace tires in the nearest dealer or car service.

#### Acknowledgement

This work was supported by the Slovak Research and Development Agency under the contract no. APVV 0432-12 and no. APVV 15-0327 and by Ministry of Education of the Slovak Republic KEGA 039 TUKE-4/2015.

#### References

1. Stevenson, Ch., "How to Diagnose Transmission Noises" In: eHow Contributor, [http://www.ehow.com/how\\_7793788\\_diagnose-transmission-noises.html](http://www.ehow.com/how_7793788_diagnose-transmission-noises.html).
2. Raju, S., "Workshop on Noise, vibration and harshness for automotive engineering" ARAI Pune, (2004) 123–139.
3. Deulgaonkar, V.R., Kallurkar, S.P., Mattani A.G., "Review and Diagnostics of noise and vibrations in automobiles" International Journal of Modern Engineering Research (IJMER), Vol. 1, Issue 2, p. 242–246, ISSN: 2249-6645.
4. Döbler, D., "Time-Domain beamforming using zero-padding" Berlin Beamforming Conference (BeBeC), 2008.
5. Jaeckel, O., Schröder, R., "Beamforming - Zeitbereich versus Frequenzbereich" Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e.V. (GfAI e.V.), Berlin.
6. Decký, M., Gavulová, A., Putirka, D., Pitoňák, M., Vangel, J., Zgútová, K., "Navrhovanie a rozpočtovanie asfaltových vozoviek", published by Stavebná fakulta ŽU, (2010).
7. Vér, I.L., Beranek, L.L., "Noise and Vibration Control Engineering" Principles and Applications. Publisher John Wiley & Sons, Inc., New Jersey, 2006, ISBN-13 978-0-471-44942-3.

8. Petráš, J., Kurimský, J., Balogh, J., Cimbala, R., Džmura, J., Dolník, B., Kolcunová, I., "Thermally stimulated acoustic energy shift in transformer oil" In: Acta Acoustica United with Acoustica. Vol. 102, no. 1 (2016), p. 16-22, ISSN 1610-1928.

9. Flegner, P., Kačur, J., Durdán, M., Leššo, I., Laciak, M., "Measurement and processing of vibro-acoustic signal from the process of rock disintegration by rotary drilling" In: Measurement. Vol. 56 (2014), p. 178-193, ISSN 0263-2241.

*Павол Липтай, Марек Моравець, Ян Збойовський*

### **ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНІКИ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ЗВУКУ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ТА АНАЛІЗУ ДЖЕРЕЛ ШУМУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ**

*У цій статті розглянуто метод динамічної візуалізації шуму, використовуючи акустичну камеру. Використання акустичної камери дає можливість візуалізувати й ідентифікувати джерела звуку рухомої техніки, а так само джерела шуму в моторному відсіку. Для того щоб краще діагностувати дефекти, можна дані вимірювання поєднувати з вимірами вібраційних сенсорів. Результат дослідження показав різницю у рівні звуків між двома машинами Skoda Octavia на тій самій дорозі при різних швидкостях. Частковий висновок – це аналіз частоти та ідентифікація домінуючих джерел звуку в моторному відсіку VW Golf з об'ємом двигуна 1,4 л.*

**Ключові слова:** автомобіль; ідентифікація; частота; вимірювання; шум.

*Павол Липтай, Марек Моравець, Ян Збойовський*

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИКИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЗВУКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И АНАЛИЗА ИСТОЧНИКОВ ШУМА ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

*В данной статье рассматривается метод динамической визуализации шума, используя акустическую камеру. Использование акустической камеры дает возможность визуализировать и идентифицировать источники звука движущейся техники, а так же источники шума в моторном отсеке. Для того чтобы лучше диагностировать дефекты, можно данные измерения совмещать с измерениями вибрационных сенсоров. Результат исследования показал разницу в уровне звуков между двумя машинами Skoda Octavia на одной и той же дороге при разных скоростях. Частичный вывод – это анализ частоты и идентификация доминирующих источников звука в моторном отсеке VW Golf с объемом двигателя 1,4 л.*

**Ключевые слова:** автомобиль; идентификация; частота; измерение; шум.

**Pavol Liptai** - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Павол Липтай** – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Павол Липтай** – доктор технических наук, доцент, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**E-mail:** pavol.liptai@tuke.sk

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8197-6627>

**Scopus Author ID:** 56006964600

**ResearcherID:** P-2766-2016

**Marek Moravec** – Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Марек Моравець** – доктор технічних наук, доцент, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Марек Моравець** – доктор технических наук, доцент, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**E-mail:** marek.moravec@tuke.sk

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8878-3457>

**Scopus Author ID:** 55971454800

**Ján Zbojovský** – Doctor of Technical Sciences, Research Fellow, Technical University of Kosice (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Ян Збойовський** – доктор технічних наук, науковий співробітник, Технічний університет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

**Ян Збойовський** – доктор технических наук, научный сотрудник, Технический университет Кошице (Letna 9 Str., 04200 Kosice, Slovakia).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4383-3996>

**Scopus Author ID:** 56119728300

**Researcher ID:** R-3952-2016

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 535.343.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-135-142

Анатолій Ковтун, Андрей Дымерец

### ВЗАИМОПРЕВРАЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕНТРОВ В ПРИМЕСНЫХ ЩЕЛОЧНОГАЛОИДНЫХ КРИСТАЛЛАХ

*Актуальность темы исследования.* В настоящее время хранение информации является очень важной задачей. Таким образом, новый способ записи больших объемов информации при использовании минимальных размеров хранилища будет актуальным.

*Постановка проблемы.* Исследовать возможность записи информации в кристаллах  $KCl+LiCl$ , а также механизм позволяющий делать это.

*Анализ последних исследований и публикаций.* В работе Барана Н.Н. и др. «Двойной электронно-ядерный резонанс А-центров в смешанных кристаллах  $KCl+LiCl$ » методом ДЭЯР подтверждена модель  $F_A$ -центра, однако кинетика взаимопревращения  $F \rightleftharpoons F_A$  изучена недостаточно.

*Части проблемы, которые требуют исследования.* Теоретически понятен механизм записи информации при превращении электронных центров  $F \rightleftharpoons F_A$  методом использования туннельного эффекта, однако в реальности он еще не реализован.

*Постановка задания.* Экспериментально и теоретически исследовать кинетику взаимного превращения электронных центров  $F \rightleftharpoons F_A$  в кристаллах  $KCl$  с примесью ионов  $Li^+$ . В процессе исследования необходимо показать механизм превращения

$F$ -центров в  $F_A$ -центры, а также практическое использование его для записи информации.

*Изложение основного материала.* Проведены экспериментальные и теоретические исследования кинетики фотопревращения  $F \rightleftharpoons F_A$  в кристаллах  $KCl+ 1 \text{ мол.}\% LiCl$  в шихте. Показано, что механизм превращения  $F$ -центров в  $F_A$ -центры заключается в том, что при освещении кристаллов светом  $F$ -центры переходят в возбужденное состояние и отдают электроны в зону проводимости в результате электронфононного взаимодействия. За время жизни электронов в зоне проводимости свободные галоидные вакансии вследствие диффузии стабилизируются ионами примеси. Затем, присоединяя электроны, стабилизированные галоидные вакансии превращаются в  $F_A$ -центры. Показано, что в облученных рентген-лучами ( $\gamma$ -лучами) кристаллах заполнение соседних галоидных вакансий туннелированием электронов возбужденных  $F$ -центров происходит только частично. Предлагается использовать туннельный эффект для записи информации сфокусированным лучом от квантового генератора света. Стирать записанную информацию можно расфокусированным световым пучком.

*Выводы относительно статьи.* Предлагается механизм превращения  $F$ -центров в  $F_A$ -центры в ионных кристаллах  $KCl$  с примесью катионов  $Li^+$ , а также кинетика этого превращения. Этот механизм предлагается использовать для записи информации.

*Ключевые слова:*  $F_A$ -центры; галоидные вакансии; квантовый выход; туннельный эффект; чужеродные щелочные ионы; зона проводимости; фотопревращение центров.

**Постановка проблемы.** Экспериментально и теоретически исследовать кинетику взаимного превращения электронных центров  $F \rightleftharpoons F_A$  в кристаллах  $KCl$  с примесью ионов  $Li^+$ . В процессе исследования необходимо показать механизм превращения  $F$ -центров в  $F_A$ -центры, а также практическое использование его для записи информации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В работе Н. Н. Барана и др. «Двойной электронно-ядерный резонанс А-центров в смешанных кристаллах  $KCl+LiCl$ » методом ДЭЯР подтверждена модель  $F_A$ -центра: это  $F$ -центр, локализованный возле примесного чужеродного иона щелочи, однако кинетика взаимопревращения  $F \rightleftharpoons F_A$  изучена недостаточно, о чем упоминается в работах Н. Härtel и П. К. Горбенко.

Об условиях и механизме образования  $F_A$ -центров детально изложено в работе П. К. Горбенко.

**Части проблемы, которые требуют исследования.** Теоретически понятен механизм записи информации при превращении электронных центров  $F \rightleftharpoons F_A$  методом использования туннельного эффекта, однако в реальности он еще не реализован.

**Вступление.** В работе приведены результаты эксперимента и теоретических исследований взаимопревращения  $F \rightleftharpoons F_A$  под воздействием света в кристаллах  $KCl$  с примесью 1 мол.%  $LiCl$  в шихте. Показан механизм превращения  $F$ -центров в  $F_A$ -центры. По-

казано, что в облученных рентген-лучами ( $\gamma$ -лучами) кристаллах заполнение соседних галоидных вакансий частично осуществляется туннелированием электронов из возбужденных F-центров. Предлагается использовать туннельный эффект для записи информации с помощью квантового генератора света.

**Изложение основного материала.** В щёлочногалоидных кристаллах (ЩГК) структура F- и  $F_A$ -центров установлена достоверно. F-центр представляет собой электрон, захваченный свободной галоидной вакансией,  $F_A$ -центр – это F-центр, локализованный возле примесного чужеродного иона щелочи [1].

Понижение симметрии от кубической до  $C_{4v}$  при возникновении  $F_A$ -центров из F-центров частично снимает вырождение p-уровня F-центра, расщепляя его на два. Поэтому, вместо одной F-полосы наблюдаются две  $F_A$ -полосы / $F_{A1}$ - и  $F_{A2}$ -/: одна из них  $F_{A1}$  соответствует переходу, дипольный момент которого ориентирован вдоль оси  $C_4$ , проходящей через примесный катион; другая  $F_{A2}$  соответствует переходу, дипольный момент которого расположен в перпендикулярной к оси  $C_4$  плоскости [2; 3; 4]. На рис. 1 изображена диаграмма энергетических уровней F- и  $F_A$ -центров. Трехкратно вырожденное возбужденное 2p-состояние F-центра расщепляется в случае  $F_A$ -центра на два состояния: дублетное дважды вырожденное / $\gamma$ / и синглетное невырожденное / $\beta$ /. Нижнему возбужденному состоянию  $\beta$  соответствует полоса оптического поглощения  $F_{A1}$ , а верхнему  $\gamma$  –  $F_{A2}$ . Итак,  $F_A$ -центр имеет одно основное и два возбужденных состояния вследствие влияния на электрон возбужденного F-центра чужеродного иона щелочного металла, находящегося в первой координационной сфере.

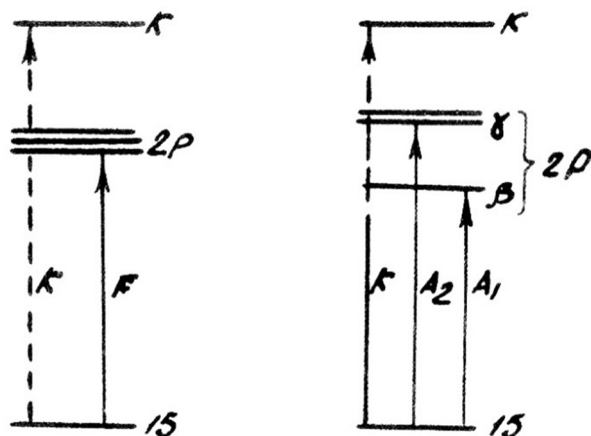


Рис. 1. Диаграммы энергетических уровней F- и  $F_A$ -центров

Кинетика взаимопревращения  $F \rightleftharpoons F_A$ -центров изучена недостаточно [5; 6], поэтому в работе подробно рассматриваются и экспериментально проверяются возможные механизмы взаимопревращения F- и  $F_A$ -центров в кристаллах KCl: LiCl.

Взаимное превращение центров, как известно, наблюдается под действием света в определенном интервале температуры. Следовательно, можно предположить два наиболее вероятных механизма: 1) объединение галоидных вакансий с ионами лития вследствие их диффузии за время жизни электрона в зоне проводимости; 2) объединение возбужденных F-центров с примесными ионами вследствие электрон-ядерного взаимодействия [3].

Первый механизм легко проверить экспериментально, разделив ионный и электронный процессы в превращении  $F \rightarrow F_A$ . Кристаллы KCl: LiCl, которые содержали свободные галоидные вакансии (рис. 2, кривая 1), полученные при частичном обесцвечивании F-центров белым светом при 195 К (углекислота в ацетоне), нагревали в темноте до 263 К, а затем охлаждали до 77 К (кривая 2) и освещали светом ( $\lambda=540$  нм), соответ-

ствующим максимуму F-полосы. В результате возникали  $F_A$ -центры (кривая 3). Эти экспериментальные данные показывают, что при нагревании кристаллов от 196 до 263 К происходит диффузия свободных галоидных вакансий, которые стабилизируются ионами лития.  $F_A^+$ -вакансии, захватывая электроны, отдаваемые возбужденными F-центрами, превращаются в  $F_A$ -центры.

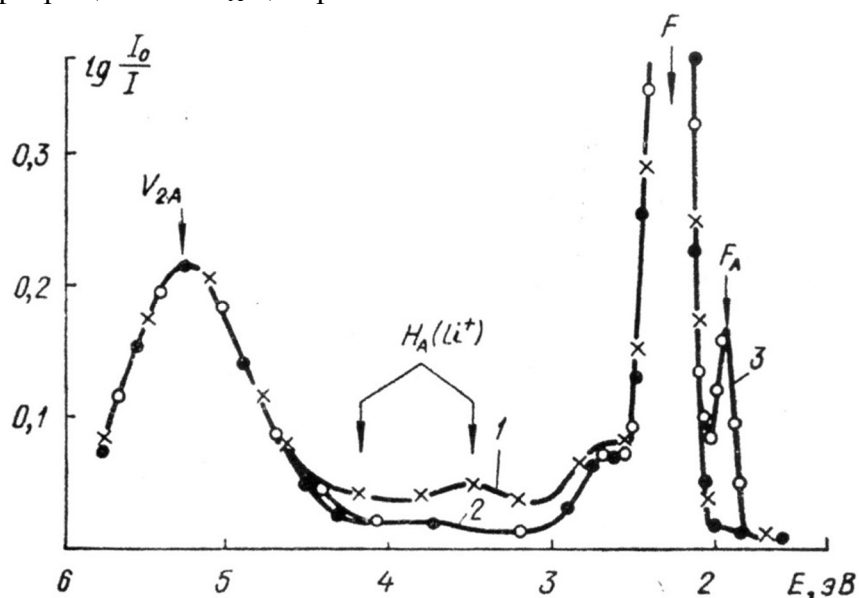


Рис. 2. Спектры оптического поглощения кристаллов  $KCl + 1 \text{ мол.}\% LiCl$  в шихте при 77 К: 1 – после 3-часового облучения рентгенлучами при 195 К кристалл нагревали до 320 К, затем охлаждали до 195 К и освещали белым светом в течении 0,5 ч; 2 – после нагрева до 263 К; 3 – после освещения светом  $\lambda=540 \text{ нм}$  в течении 1 ч при 77 К. Все спектры сняты при 77 К

Второй механизм превращения можно обнаружить путём исследования квантового выхода электронов в зону проводимости. Если возбужденные F-центры объединяются с примесью, нужно ожидать, что в начале процесса  $F \rightarrow F_A$  квантовый выход меньше, чем в конце процесса, так как концентрация реагирующих дефектов со временем уменьшается. Квантовый выход будет постоянным, если процесс объединения возбужденных F-центров с примесью маловероятен.

В аддитивно окрашенных кристаллах, как показали экспериментальные исследования, квантовый выход в зону проводимости в процессе превращения  $F \rightarrow F_A$  не изменяется (рис. 3). Следовательно, второй механизм фотопревращения F-центров в  $F_A$ -центры маловероятен.

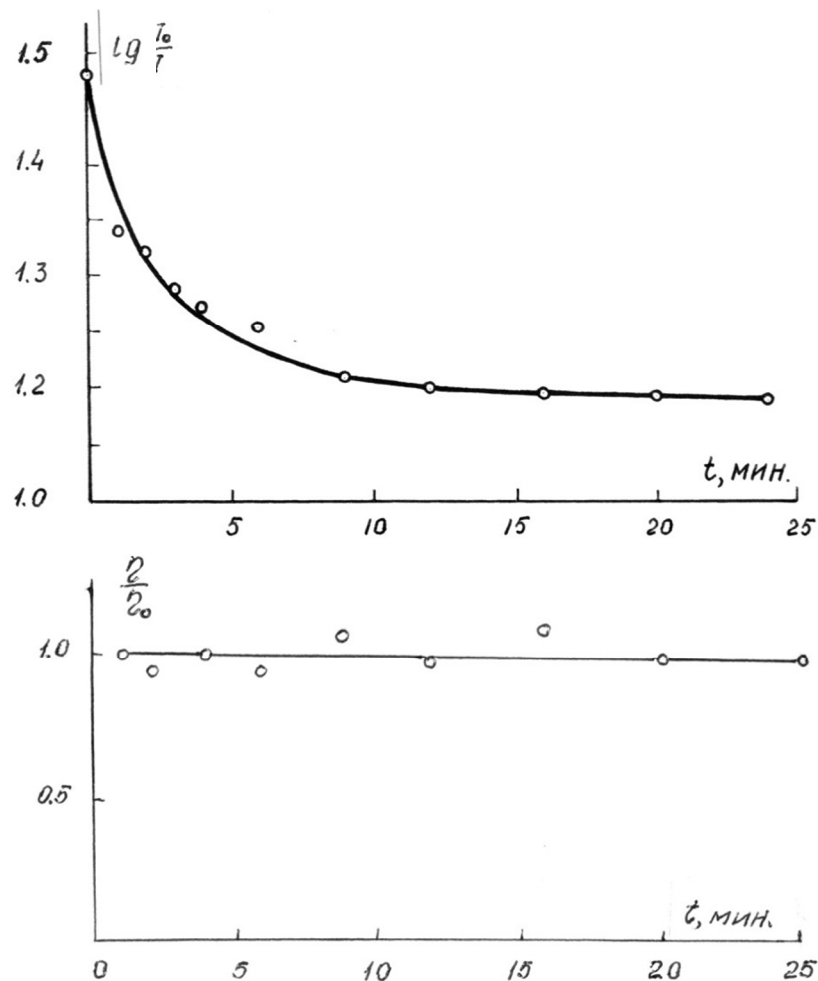


Рис. 3. Верхним графиком показано изменение оптической плотности кристалла для  $\lambda=520$  нм в процессе  $F \rightarrow F_A$ . На нижнем графике дана зависимость квантового выхода электронов в зону проводимости фотопревращения  $F \rightarrow F_A$  в аддитивно окрашенном кристалле  $KCl : LiCl$  (1 мол. %  $LiCl$  в шихте) при 263 К

В облученных рентгеновскими ( $\gamma$ -лучами) кристаллах, кроме процесса  $F \rightarrow F_A$ , наблюдается частичное обесцвечивание  $F_A$ -центров вследствие рекомбинации электронов с дырками  $V_{2A}$  ( $Li^+$ ) центров. При этом образуются  $F_A^+$ -вакансии [5]. Относительный квантовый выход электронов в зону проводимости уменьшается до нуля (рис. 4). Следовательно, происходит туннелирование электронов из возбужденных  $F_A$ -центров на соседние галоидные вакансии. Поэтому облученные рентген-лучами ( $\gamma$ -лучами) кристаллы обесцвечиваются лишь на 45 % при температурах, при которых галоидные вакансии не диффундируют.

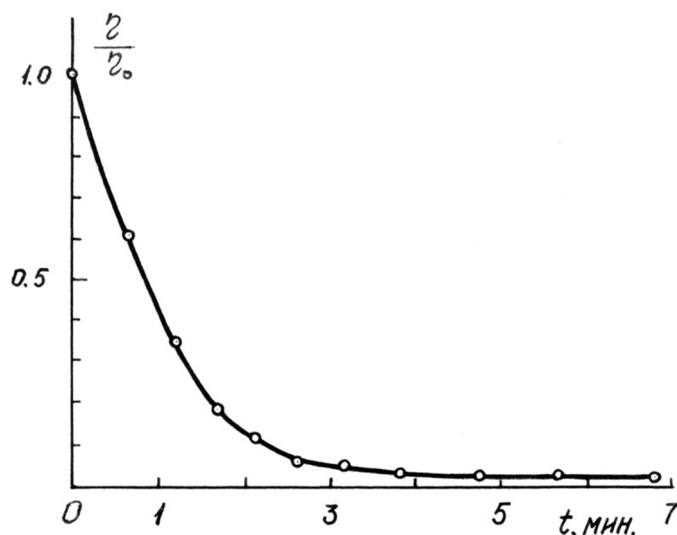


Рис. 4. Зависимость квантового выхода электронов в зону проводимости в процессе  $F \rightarrow F_A$  в облученном рентген-лучами кристалле  $KCl : LiCl$  (1 мол. %  $LiCl$  в шихте) при 263 K ( $\eta_0$  – квантовый выход в момент времени  $t_0$  в процессе превращения  $F \rightarrow F_A$ )

Туннельный эффект электронов из возбужденных F- и  $F_A$ -центров на соседние вакансии можно успешно использовать для записи информации сфокусированным лучом от квантового генератора света. Стирание информации можно производить расфокусированным световым пучком.

Предположим, что при освещении аддитивно окрашенных примесных кристаллов возбужденные F-центры диссоциируют на поляроны и галоидные вакансии в результате электрон-фононного взаимодействия [7].  $F_A$ -центры образуются вследствие стабилизации диффундирующих свободных галоидных вакансий ионами примеси с последующим захватом полярона. Происходит возбуждение образовавшихся  $F_A$ -центров, поскольку  $F_{A2-}$  и F-полосы оптического поглощения плотно перекрываются. Возбужденные  $F_A$ -центры диссоциируют на поляроны и галоидные вакансии. Вакансии, локализованные возле ионов примеси, при некоторых температурах делокализуются вследствие диффузии. В результате захвата поляронов свободные вакансии превращаются в F –центры. Тогда соответствующие концентрации  $N_K$  ( $K=F, F^*, F^+, F_A, F_A^*, F_A^+, i, p$ ) будут подчиняться кинетическим уравнениям:

$$\dot{N}_F = -\eta_F L N_F + A_{F^*} N_{F^*}; \tag{1}$$

$$\dot{N}_{F^*} = \eta_F L N_F - A_{F^*} N_{F^*} + \gamma_{F^+} N_{F^+} N_P - P_{F^*} N_{F^*}; \tag{2}$$

$$\dot{N}_{F^+} = P_{F^*} N_{F^*} - \gamma_{F^+} N_{F^+} N_P + P_{F_A^+} N_{F_A^+} - \gamma_i N_{F^+} N_i; \tag{3}$$

$$\dot{N}_{F_A} = -\eta_{F_A} L N_{F_A} + A_{F_A^*} N_{F_A^*}; \tag{4}$$

$$\dot{N}_{F_A^*} = \eta_{F_A} L N_{F_A} - A_{F_A^*} N_{F_A^*} + \gamma_{F_A^+} N_{F_A^+} N_P - P_{F_A^*} N_{F_A^*}; \tag{5}$$

$$\dot{N}_{F_A^+} = P_{F_A^*} N_{F_A^*} - \gamma_{F_A^+} N_{F_A^+} N_P + \gamma_i N_{F_A^+} N_i - P_{F_A^+} N_{F_A^+}; \tag{6}$$

$$\dot{N}_i = -\gamma_i N_{F^+} N_i + P_{F_A^+} N_{F_A^+}; \tag{7}$$

$$\dot{N}_P = \eta_F L N_F + \eta_{F_A} L N_{F_A} - \gamma_{F^+} N_{F^+} N_P - \gamma_{F_A^+} N_{F_A^+} N_P, \tag{8}$$

где  $\eta_F$  и  $\eta_{F_A}$  – квантовый выход фотовозбуждения F- и  $F_A$ -центров;  $L$  – интенсивность поглощения света;  $A_{F^*}$  и  $A_{F_A^*}$  – вероятность спонтанного перехода F- и  $F_A$ -центров из возбужденного состояния в основное;  $P_{F^*}$  и  $P_{F_A^*}$  – вероятности термической делокализации  $F_A^+$ -вакансии;  $\gamma_{F^+}$  и  $\gamma_{F_A^+}$  – коэффициенты захвата поляронов галоидными вакансиями;  $\gamma_i$  – коэффициент захвата галоидных вакансий примесью;  $N_i$  – концентрация изолированных чужеродных примесных щелочных ионов.

Из условий нейтральности кристалла и сохранения полного числа галоидных вакансий и примеси получаем три интеграла системы:

$$N_{F^+} + N_{F_A^+} - N_P = N_{F^+}^0; \quad (9)$$

$$N_F + N_{F^*} + N_{F^+} + N_{F_A} + N_{F_A^*} + N_{F_A^+} = M_1; \quad (10)$$

$$N_{F_A} + N_{F_A^*} + N_{F_A^+} + N_i = M_2. \quad (11)$$

Результирующий положительный заряд  $N_{F^+}^0$  должен быть скомпенсирован равным отрицательным зарядом, находящимся с ним в динамическом равновесии, например щелочными вакансиями.

Эксперимент показывает, что F – центры превращаются только в  $F_A$ -центры в том случае, когда  $N_i \gg N_F$ . Если  $N_F \approx N_i$  или  $N_F > N_i$ , то, кроме  $F_A$ -центров, образуются  $F_2$ - $F_3$ -центры. Мы приводим частное решение системы уравнений (1)-(11), полагая, что при  $N_F \gg N_i$  наиболее вероятным процессом фотопревращения  $F \rightarrow F_A$  будет процесс объединения свободных галоидных вакансий с ионами примеси за время жизни электронов в зоне проводимости. В этом приближении в уравнении (1) можно пренебречь членом  $A_{F^*} N_{F^*}$ .

Тогда

$$\dot{N}_F \approx -\eta_F L N_F. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) имеет вид:

$$N_F = M_1 e^{-\eta_F L t}; \quad (13)$$

Концентрация  $F_A$ -центров, как видно из уравнения (10), будет изменяться со временем:

$$N_{F_A} \approx M_1 - N_F = M_1 (1 - e^{-\eta_F L t}). \quad (14)$$

В уравнении (10) мы пренебрегаем концентрацией промежуточных продуктов ( $N_{F^*}$ ,  $N_{F^+}$ ,  $N_{F_A^*}$ ,  $N_{F_A^+}$ ) по сравнению с концентрацией исходных и конечных центров. Такое условие практически всегда выполняется, если кристаллы освещать монохроматическим светом малой интенсивности.

На рис. 5 приведены кривые, показывающие, как изменяется поглощение в максимумах F- (540 нм) и  $F_{A_2}$ - (630 нм) полос. Кривая  $D_{\lambda=540 \text{ нм}}$  не отражает действительного изменения во времени концентрации F – центров, так как F – полоса плотно перекрывается  $F_{A_2}$ -полосой. Поэтому сравнение расчетных данных с экспериментальными производится в максимуме  $F_{A_2}$ -полосы (630 нм).

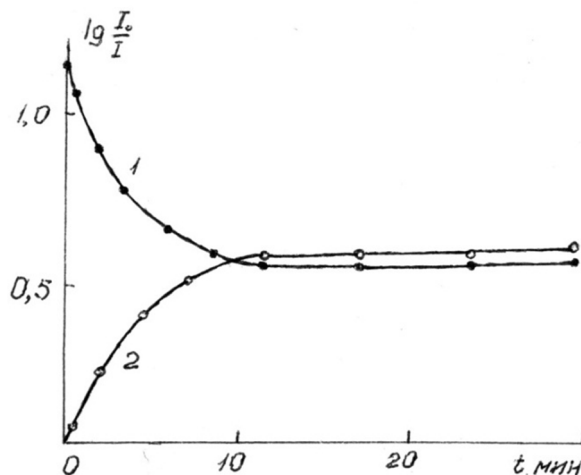


Рис. 5. Временная зависимость изменения концентрации F- и  $F_A$ -центров в аддитивно окрашенных кристаллах  $KCl : LiCl$  (1 мол. %  $LiCl$  в шихте): 1 – оптическая плотность кристалла в максимуме F – полосы ( $D_{\lambda=540 \text{ нм}}$ ); 2 – то же в максимуме  $F_A$ -полосы ( $D_{\lambda=630 \text{ нм}}$ ). Кристалл освещали в максимуме F – полосы поглощения при 263 К; поглощение в максимумах F – и  $F_A$  – полос измеряли при 77 К



Из уравнения (10) видно, что  $M_1 = N_{FA}^\infty$ , если все F – центры превращаются в  $F_A$ –центры. Постоянную  $\alpha = \eta_F L$  легко определить из наклонов прямой  $\ln \left[ \frac{N_{FA}^\infty}{N_{FA}^\infty - N_{FA}} \right] = \alpha t$ .

Рисунок 5 показывает, что экспериментальные и расчетные данные хорошо согласуются. Следовательно, рассматриваемое приближение вполне оправдано.

**Выводы и предложения.** Предлагается механизм превращения F-центров в  $F_A$ -центры в ионных кристаллах KCl с примесью катионов  $Li^+$ , а также кинетика этого превращения.

В результате освещения кристалла светом из F – полосы поглощения F – центры переходят в возбужденные состояния, а затем в результате электрон-фононного взаимодействия электроны оказываются в зоне проводимости. За время пребывания электронов в зоне проводимости теперь уже свободные галоидные вакансии бывших F-центров диффундируют по кристаллу и стабилизируются “чужеродными” ионами  $Li^+$ . Присоединяя электрон, эти “заготовки” превращаются в  $F_A$ -центры.

Установлено, что в облученных квантами большой энергии ( $\gamma$ -лучами, рентген-лучами) кристаллах заполнение галоидных вакансий, стабилизированных ионами лития, частично происходит путем туннельного эффекта из соседних возбужденных F – центров. Туннельный эффект можно использовать для записи информации.

#### Список использованных источников

1. Двойной электронно-ядерный резонанс A-центров в смешанных кристаллах KCl+LiCl / Н. Н. Баран и др. // Физика твердого тела. – 1968. – Т. 10. – С. 3005–3010.
2. Kojima K., Nishimaki N., Kojima T. // J. Phys. Soc. Japan. – 1961. – Т. 16. – С. 2033.
3. Lüty F. // Z. Physik. – 1961. – Т. 165. – С. 17.
4. Henry C.H. // Phys. Rev. – 1965. – Т. 140. – С. 256.
5. Горбенко П. К. Превращение электронных центров в кристаллах KCl+LiCl / П. К. Горбенко, Н. П. Калабухов, А. А. Ковтун // Украинский физический журнал. – 1973. – Т. 18. – С. 1109–1113.
6. Härtel H. Zur bildung-skinetik der F-folgezentren in KCl / H. Härtel, F. Lüty // Z. Physik. – 1964. – Т. 177. – С. 369–384.
7. Горбенко П. К. Об излучательных и безизлучательных электронных переходах в F-центрах / П. К. Горбенко // Известия вузов. Физика. – 1963. – № 5. – С. 73–75.
8. Исследование радиационных дефектов в кристаллах KCl чистых и с примесью ионов  $Li^+$  и  $Na^+$  / П. К. Горбенко, А. А. Ковтун, А. В. Рогоза, Ю. Е. Шоломий // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2014. – № 2 (73). – С. 29–33.

#### References

1. Baran N. N. (1968). Dvoynoi elektronno-yadernyi rezonans A-tsentrov v smeshannykh kristallakh KCl+LiCl [Dual electron-nuclear resonance of A-centers in mixed crystals of KCl + LiCl]. *Fizika tverdogo tela – Solid State Physics*, vol. 10, pp. 3005–3010 (in Russian).
2. Kojima K., Nishimaki N., Kojima T. (1961). *J. Phys. Soc. Japan*. Vol. 16, pp. 2033.
3. Lüty F. (1961). *Z. Physik*. Vol. 165, pp. 17.
4. Henry C.H. (1965). *Phys. Rev.* Vol. 140, pp. 256.
5. Gorbenko, P.K., Kalabukhov, N.P., Kovtun, A.A. (1973). Prevrashchenie elektronnykh tsentrov v kristallakh KCl+LiCl [The transformation of electronic centers in KCl+LiCl crystals]. *Ukrainskii fizicheskii zhurnal – Ukrainian Physical Journal*, vol. 18, pp. 1109–1113 (in Russian).
6. Härtel H., Lüty F. (1964). *Zur bildung-skinetik der F-folgezentren in KCl*. *Z. Physik*, vol. 177, pp. 369–384.
7. Gorbenko, P.K. (1963). Ob izluchatelnykh i bezizluchatelnykh elektronnykh perekhodakh v F-tsentrah [On radiation and nonradiative electronic transitions in F centers]. *Izvestiia vuzov. Fizika – Proceedings of universities. Physics*, no. 5, pp. 73–75 (in Russian).
8. Gorbenko, P.K., Kovtun, A.A., Rogoza, A.V., Sholomii, Iu. E. (2014). Issledovanie radiatsionnykh defektov v kristallakh KCl chistykh i s primesiu ionov  $Li^+$  i  $Na^+$  [Investigation of radiation defects in KCl crystals of pure and  $Li^+$  and  $Na^+$ ]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia “Tekhnichni nauky” – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series “Technical sciences”*, no. 2 (73), pp. 29–33 (in Russian).

Anatoliy Kovtun, Andriy Dymerecs

## MUTUAL TRANSFORMATION OF ELECTRONIC CENTERS IN IMPURITY ALKALI-HALOIDE CRYSTALS

**Urgency of the research.** Nowadays, information storage is a very important task. Thus, a new way of recording large amounts of information, when using the minimum storage size will be relevant.

**Target setting.** Investigate the possibility of recording information in KCl + LiCl crystals, as well as a mechanism that allows doing this.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In the work of N.N. Baran. et al. "Dual electron-nuclear resonance of A-centers in mixed crystals of KCl + LiCl" by the

DENR method confirmed the model of the  $F_A$ -center, but the kinetics of the interconversion of  $F \rightleftharpoons F_A$  has not been studied sufficiently.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Theoretically, the mechanism of recording information when converting electronic centers  $F \rightleftharpoons F_A$  by using the tunnel effect is understandable, but in reality it has not yet been realized.

**The research objective.** Experimentally and theoretically investigate the kinetics of mutual conversion of electron centers  $F \rightleftharpoons F_A$  in KCl crystals with an admixture of  $Li^+$  ions. In the process of research, it is necessary to show the mechanism of transformation

$F$  centers to  $F_A$ -centers, as well as its practical use for recording information.

**The statement of basic materials.** Experimental and theoretical research of the phototransformation kinetics of  $F \rightleftharpoons F_A$  in KCl + 1 mol. % LiCl crystals in a charge are carried out. It is shown that the mechanism of transformation of  $F$ -centers to  $F_A$ -centers consist in the fact that when the crystals are lighted, the  $F$ -centers go over into an excited state and give electrons to the conduction band as a result of electron-phonon interaction. During the lifetime of electrons in the conduction band, free haloid vacancies are stabilized by impurity ions because of diffusion. Then, the stabilized haloid vacancies are transformed to  $F_A$ -centers by attaching electrons. It is shown that the filling of nearby haloid vacancies by tunneling of electrons of excited  $F$ -centers in the X-rays irradiated ( $\gamma$ -rays) crystals occurs only partially. It is proposed to use the tunnel effect to record information with a focused beam from a quantum light generator. The recorded information can be erased by a defocused light beam.

**Conclusions.** Proposed mechanism to convert the  $F$ -centers in  $F_A$ -centers in ionic crystals KCl mixed with cations  $Li^+$ , and the kinetics of this transformation. This mechanism is proposed to be used for recording information.

**Key words:**  $F_A$ -centers; haloid vacancies; quantum yield; tunnel effect; foreign alkaline ions; conduction band; photo-transformation of centers.

Анатолій Ковтун, Андрій Димерець

## ВЗАЄМОПЕРЕТВОРЕННЯ ЕЛЕКТРОННИХ ЦЕНТРІВ У ДОМІШКОВИХ ЛУЖНОГАЛОЇДНИХ КРИСТАЛАХ

Проведені експериментальні та теоретичні дослідження кінетики фотоперетворення  $F \rightleftharpoons F_A$  в кристалах KCl + 1 мол. % LiCl в шикті. Показано, що механізм перетворення  $F$ -центрів в  $F_A$ -центри полягає в тому, що при опроміненні кристалів світлом  $F$ -центри переходять в збуджений стан та віддають електрони в зону провідності в результаті електронфононої взаємодії. За час життя електронів в зоні провідності вільні галоїдні вакансії внаслідок дифузії стабілізуються іонами домішки. Потім, приєднуючи електрони, стабілізовані галоїдні вакансії перетворюються в  $F_A$ -центри. Показано, що в опромінених рентген-променями ( $\gamma$ -променями) кристалах заповнення сусідніх галоїдних вакансій тунелюванням електронів збуджених  $F$ -центрів відбувається тільки частково. Пропонується використовувати тунельний ефект для запису інформації сфокусованим променем від квантового генератора світла. Видаляти записану інформацію можна розфокусованим пучком світла.

**Ключові слова:**  $F_A$ -центри; галоїдні вакансії; квантовий вихід; тунельний ефект; чужорідні лужні іони; зона провідності; фотоперетворення центрів.

**Ковтун Анатолій Олексійович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри ІВТФ, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Ковтун Анатолій Алексеевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры ИИТФ, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kovtun Anatoliy** – PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Information and Measurement Technologies and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Димерець Андрій Віталійович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Дымерец Андрей Виталиевич** – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Dymerecs Andriy** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** andrey.dymerecs@gmail.com

*Павло Наумчик, Віталій Миронцов*

## **ЦИФРОВИЙ ЛЮКСМЕТР УНІВЕРСАЛЬНОГО ПРИЛАДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ СВІТЛА**

**Актуальність проблеми дослідження.** За державними стандартами України оцінку якості освітлювальних пристроїв здійснюють за наступними характеристиками: світлова віддача, світловий потік, середня тривалість служби. Тому існує потреба у приладі, який би міг вимірювати вказані характеристики.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проведений нами аналіз публікацій показав, що методи оцінювання якості освітлювачів складні, а прилади мають високу вартість.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Нами запропоновано дешевший універсальний прилад для визначення ефективності джерел світла, основними складовими якого є цифровий люксметр і цифровий ватметр. В статті розглянуто одну з основних складових універсального приладу – цифровий люксметр.

**Постановка завдання.** Для універсального приладу для визначення ефективності джерел світла необхідний цифровий люксметр, який дозволяє визначати величину і розподіл освітленості поверхні.

**Виклад основного матеріалу.** Датчиками розробленого нами люксметра є фоторезистори, які підключені до платформи ArduinoNano. В статті висвітлена будова, технологія виготовлення, методи калібрування й програмне забезпечення даного цифрового люксметра. Також розглянуто методику роботи з приладом.

**Висновки і пропозиції.** Розроблений нами люксметр є прототипом більш складного і якісного приладу. Наступним етапом розробки універсального приладу для визначення ефективності джерел світла є виготовлення цифрового ватметра. Розроблено програмне забезпечення для роботи приладу, проведено калібрування приладу, розроблено методику його використання.

**Ключові слова:** джерела світла; цифровий люксметр; фоторезистори; програмний код мікроконтролера; калібрування.

**Постановка проблеми, аналіз останніх досліджень і публікацій, виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Одним з ефективних способів економії електричної енергії є використання енергоефективних електричних джерел світла. Сьогодні існує велика кількість різноманітних освітлювальних пристроїв, що відрізняються принципом дії, будовою та призначенням, оцінювання якості яких здійснюють на основі ДСТУ-П ІЕС/PAS 6272221:2014 [1], за яким до основних характеристик ламп відноситься:

- світлова віддача;
- світловий потік;
- середня тривалість служби.

Основним недоліком цього приладу є його висока вартість.

Для вимірювання вказаних характеристик нами запропоновано більш дешевий пристрій [2], який має такі складові частини: джерело струму, цифровий ватметр (прилад для вимірювання електричної потужності джерел світла) та цифровий люксметр (прилад, за допомогою якого можна визначити інтенсивність джерела світла).

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розробка, виготовлення, калібрування й програмне забезпечення цифрового люксметра – приладу, призначеного для визначення ефективності джерел світла.

Для досягнення поставленої мети потрібно виконати такі **завдання:**

- розробити принципову схему цифрового люксметра;
- розробити програмне забезпечення для його роботи;
- провести калібрування приладу;
- розробити методику його використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Люксметр – це прилад для вимірювання освітленості у приміщеннях різного призначення, на робочих місцях, а також на відкритому просторі [3]. Це складна система, до складу якої входить фотодіод, підсилювач сигналу з фотодіода, аналогово-цифровий перетворювач, а також косинусна насадка та світлові фільтри. Працює люксметр на явищі внутрішнього фотоелектричного ефекту. Це процес виникнення електропровідності в напівпровідниках під дією електромагнітного випромінювання (на відміну від зовнішнього фотоелектричного ефекту, коли відбувається емісія електронів під дією світла). Коли

світловий потік потрапляє на напівпровідниковий фотоелемент, відбувається вивільнення електронів в об'ємі напівпровідника і як наслідок – через фотоелемент проходить електричний струм. Причому сила цього струму прямо пропорційна інтенсивності світла, тобто освітленості фотоелемента, а кінетична енергія фотоелектронів прямо пропорційна частоті світла. Такі прості математичні залежності дозволяють виразити величину освітленості кількісно.

У перших аналогових люксметрах освітленість розраховувалась за кутом відхилення стрілки гальванометра. Після винайдення селенового фотодіода та вдосконалення вакуумних фотоелементів, електрична фотометрія набула широкого застосування як у побутових, так і у промислових масштабах. Сучасні люксметри – це портативні цифрові прилади з рідкокристалічним екраном, на якому відображається результат вимірювання, з високими ступенями захисту корпусу та чутливого елемента, а також з набором додаткових функцій та можливостей.

У більш дешевих моделях люксметрів світлочутливий елемент може бути жорстко закріплений на корпусі, що обмежує можливості використання приладу. Гнучке з'єднання вимірювальної частини з приладом забезпечує можливості вимірювання у важкодоступних місцях.

Селеновий фотодіод є надзвичайно чутливим не тільки до видимого випромінювання, але й до ультрафіолетових та інфрачервоних променів, які не сприймаються людським оком. Тому в сучасних люксметрах широко використовуються корегуючі світлофільтри, які відсікають ці області спектра та наближають чутливість фотоелемента до чутливості людського ока. З іншого боку, потрібно враховувати і те, що кожне джерело (лампа розжарювання, люмінесцентна лампа, діодний світильник та ін.) має свій спектр випромінювання, тому для кожного люксметра потрібно використовувати свої коефіцієнти для різних типів ламп. Наприклад, під час вимірювання освітленості, що створюється люмінесцентними лампами, вводять поправочний коефіцієнт для ламп денного світла 0,88, а для ламп білого світла – 1,15.

Для вимірювання просторових характеристик освітленості теж існують свої засоби – це насадки сферичної та циліндричної форми. Для підвищення точності вимірювання освітленості при падінні світла під кутом теж можна використовувати спеціальні насадки. У випадку слабких джерел світла, а також коли необхідна особливо висока точність, варто скористатись вакуумними фотоелементами [4]

**Виклад основного матеріалу.** Основою розроблюваного приладу є 8 фоторезисторів, розташованих по колу (рис. 1), які підключені до платформи Arduino Nano.

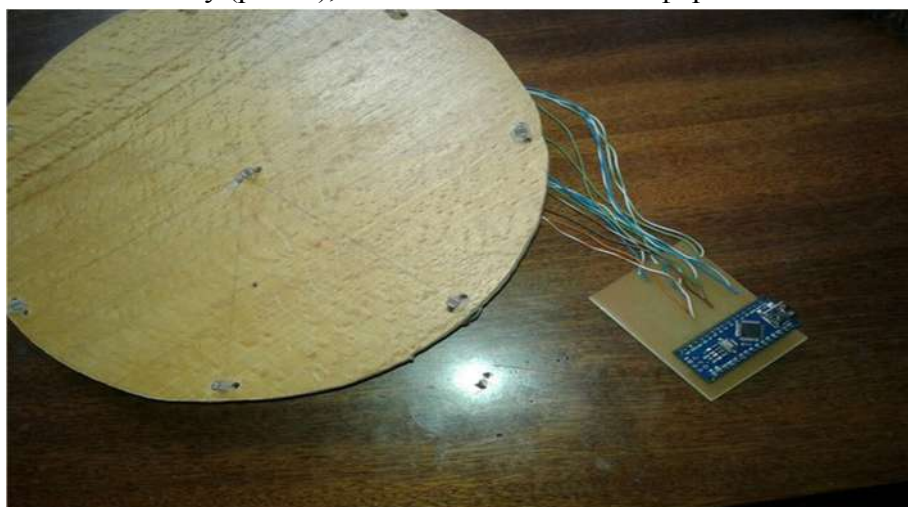


Рис. 1. Зовнішній вигляд цифрового люксметра

Nano Платформа, побудована на мікроконтролері ATmega328 (Arduino Nano 3.0) (рис. 2), має невеликі розміри і може використовуватися в лабораторних роботах. Вона має схожу з Arduino Duemilanove функціональність, проте відрізняється збиранням. Відмінність полягає у відсутності силового роз'єму постійного струму і роботі через кабель Mini-B USB.

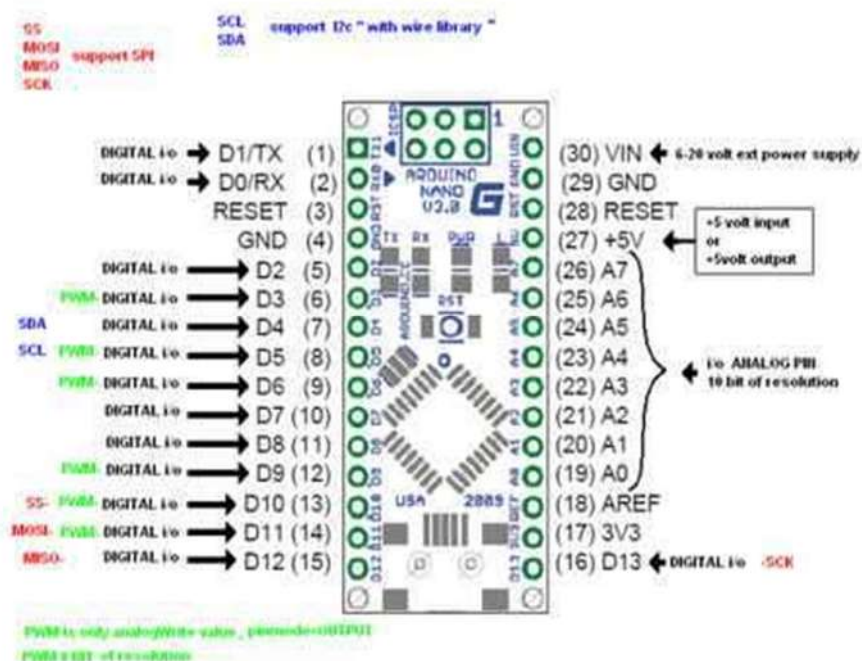


Рис. 2. Вводи і виводи плати ARDUINO NANO

*Короткі характеристики платформи:*

Мікроконтролер Atmel ATmega168 або ATmega328

Робоча напруга (логічний рівень) 5 В

Вхідна напруга (рекомендована) 7-12 В

Вхідна напруга (гранична) 6–20 В

Цифрові Входи / Виходи –14 (6 з яких можуть використовуватися як виходи ШІМ)

8 Аналогових входів

Постійний струм через вхід / вихід 40 мА

Флеш-пам'ять 32 Кб (ATmega328) при цьому 2 Кб використовуються для завантаження

Пам'ять ОЗП – 2 Кб

EEPROM 1 Кб (ATmega328)

Тактова частота – 16 МГц

Розміри 1,85×4,2 см

*Живлення:*

Arduino Nano може отримувати живлення через підключення Mini-B USB або від нерегульованого зовнішнього джерела живлення.

Мікросхема FTDI FT232RL отримує живлення, тільки якщо сама платформа запитана від USB. Таким чином, під час роботи від зовнішнього джерела (НЕ USB), буде відсутня напруга 3,3 В, що генерується мікросхемою FTDI, при цьому світлодіоди RX і TX блимають тільки за наявності сигналу високого рівня на виводах 0 і 1.

### *Пам'ять*

Мікроконтролер ATmega328 має 32 кБ флеш-пам'яті для зберігання коду програми. ATmega328 має 1 кБ ОЗП і 1 Кб EEPROM (яка читається і записується за допомогою бібліотеки EEPROM), А ATmega328 - 2 кБ ОЗУ і 1 Кб EEPROM.

### *Входи і Виходи*

Кожен з 14 цифрових виводів Nano, використовуючи функції pinMode, digitalWrite і digitalRead, може налаштовуватися як вхід або вихід. Виводи працюють при напрузі 5 В. Кожен вивід має навантажувальний резистор (стандартно відключений) 20-50 кОм і може пропускати до 40 мА.

Деякі виводи мають особливі функції:

– Послідовна шина: 0 (RX) і 1 (TX). Виводи використовуються для отримання (RX) і передачі (TX) даних TTL. Ці виводи підключені до відповідних виводів мікросхеми послідовної шини FTDI USB-к-TTL.

– Зовнішнє переривання: 2 і 3. Ці виводи можуть бути налаштовані на виклик переривання або на молодшому значенні, або на передньому чи задньому фронті, або при зміні значення. Детальна інформація знаходиться в описі функції attachInterrupt.

– ШІМ: 3, 5, 6, 9, 10, і 11. Будь-який з виводів забезпечує ШІМ з роздільною здатністю 8 біт за допомогою функції analogWrite.

– SPI: 10 (CS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). За допомогою цих виводів здійснюється зв'язок SPI.

– I2C: A4 (SDA) і A5 (SCL). За допомогою виводів здійснюється зв'язок I2C (TWI). Для створення використовується бібліотека Wire.

### *Додаткова пара виводів платформи:*

– AREF. Опорна напруга для аналогових входів. Використовується з функцією analogReference.

– Скидання. Низький рівень сигналу на виводі перезавантажує мікроконтролер. Зазвичай застосовується для підключення кнопки перезавантаження на платі розширення, що закриває доступ до кнопки на самій платі Arduino.

### *Зв'язок*

На платформі Arduino Nano встановлено кілька пристроїв для здійснення зв'язку з комп'ютером, іншими пристроями Arduino або мікроконтролерами. ATmega328 підтримує послідовний TTL Інтерфейс UART (5 В), 0 здійснюваний виводами (RX) і 1 (TX). Встановлена на платі мікросхема FTDI FT232RL направляє цей інтерфейс через USB, а драйвери FTDI (включені у програму Arduino) надають віртуальний COM порт програмі на комп'ютері. Моніторинг послідовної шини (Serial Monitor) програми Arduino дозволяє посилати й отримувати текстові дані при підключенні до платформи. Світлодіоди RX і TX на платформі будуть блимати при передачі через USB підключення.

Бібліотекою SoftwareSerial можливо створити послідовну передачу даних через будь-який з цифрових виводів Nano.

### *Програмування*

Платформа програмується за допомогою ПЗ Arduino. З меню Tools> Board вибирається «Arduino Diecimila, Duemilanove Nano / ATmega328». Детальна інформація знаходиться в довіднику й інструкціях.

Мікроконтролер ATmega328 поставляється з записаним завантажувачем, що полегшує запис нових програм без використання зовнішніх програматорів. Зв'язок здійснюється оригінальним протоколом STK500.

Є можливість не використовувати завантажувач і запрограмувати мікроконтролер через виводи блока ICSP (внутрішньосхемне програмування). [<http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>]



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Нижче записано програмний код мікроконтролера:

```
int sensors[] = {A0, A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7};
int sensorValues[sizeof(sensors)/sizeof(int)];
void setupSensors() {
    for (int i = 0; i < (sizeof(sensors)/sizeof(int)); i++) {
        pinMode(sensors[i], INPUT);
    }
}
void readSensorsValues() {
    for (int i = 0; i < (sizeof(sensors)/sizeof(int)); i++) {
        sensorValues[i] = analogRead(sensors[i]);
    };
}
void printSensorsValues() {
    for (int i = 0; i < (sizeof(sensors)/sizeof(int)); i++) {
        Serial.print("Sensor ");
        Serial.print(i);
        Serial.print(" value:");
        Serial.println(sensorValues[i]);
    }
}
void printSensorsAverageValue() {
    int avg = 0;
    int sum = 0;
    int sensorsQuantity = sizeof(sensors)/sizeof(int);
    for (int i = 0; i < sensorsQuantity; i++) {
        sum += sensorValues[i];
    };
    Serial.print("Sensors average: ");
    Serial.println(sum / sensorsQuantity);
}
void setup() {
    setupSensors();

    Serial.begin(115200);

    while (!Serial) {
        ; // wait for serial port to connect. Needed for Leonardo only
    };
    Serial.println("Sensors values:");
}
void loop() {
    readSensorsValues();
    printSensorsValues();
    printSensorsAverageValue();
    delay(1000); // 1second
}
```

Калібрування приладу виконувалось таким чином. Джерело світла було підключено через випрямляч ВС – 24, який дає можливість змінювати напругу живлення, за рахунок чого змінюється яскравість світіння лампи, а отже, і величину освітленості. За

однакових значеннях напруги та струму було виміряно освітленість за допомогою аналогового люксметра (шкала проградуєвана в люксах) та знято покази фоторезисторів при тих самих значеннях. Порівнявши дані, було визначено, які значення опорів фоторезисторів відповідають певним значенням освітленості. Нижче наведено таблицю із цими значеннями.

Таблиця 1

*Результати вимірювань під час калібрування*

I (A)	U (B)	Лк	Опір							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1,5	16	1	830	796	807	855	785	816	826	808
1,6	18	2	865	835	852	887	827	857	862	849
1,7	20	3	896	871	894	914	866	891	894	885
1,8	22	4	923	902	916	938	900	920	921	915
1,9	24	5	936	916	931	949	915	932	933	928
1,95	25	6	943	925	942	955	924	940	941	936
2	25	7	945	927	950	956	925	941	942	937
2	26	8	949	931	955	960	931	946	947	942
2,1	26,5	9	954	937	958	965	938	952	952	948
2,1	27	10	956	939	961	966	940	953	954	949
2,1	28	11	957	941	964	967	942	954	954	951
2,1	29	12	961	946	969	971	947	959	959	955
2,15	29,5	13	964	949	972	973	950	961	961	958
2,2	30	14	967	953	975	976	954	965	965	961
2,2	31	15	969	956	978	977	957	966	967	964
2,2	32	16	972	959	979	980	960	970	970	967
2,3	33	17	973	960	979	981	960	971	970	968

На рис. 3 зображено калібрівочний графік залежності освітленості від потужності.

*Методика використання люксметра*

Для вимірювання освітленості за допомогою цього приладу необхідно виконати такі дії:

1. Помістити фоторезистори та досліджуване джерело світла у захисний кожух із світлоневідбиваючого та світлонепропускаючого матеріалу (необхідно для усунення похибки, яку вносить зовнішнє світло).

2. Підключити мікроконтролер до ПК (на якому повинне бути встановлено спеціально розроблене програмне забезпечення).

3. Під'єднати джерело світла до мережі та запустити програму.

4. Зняти виміряні значення з монітора ПК.



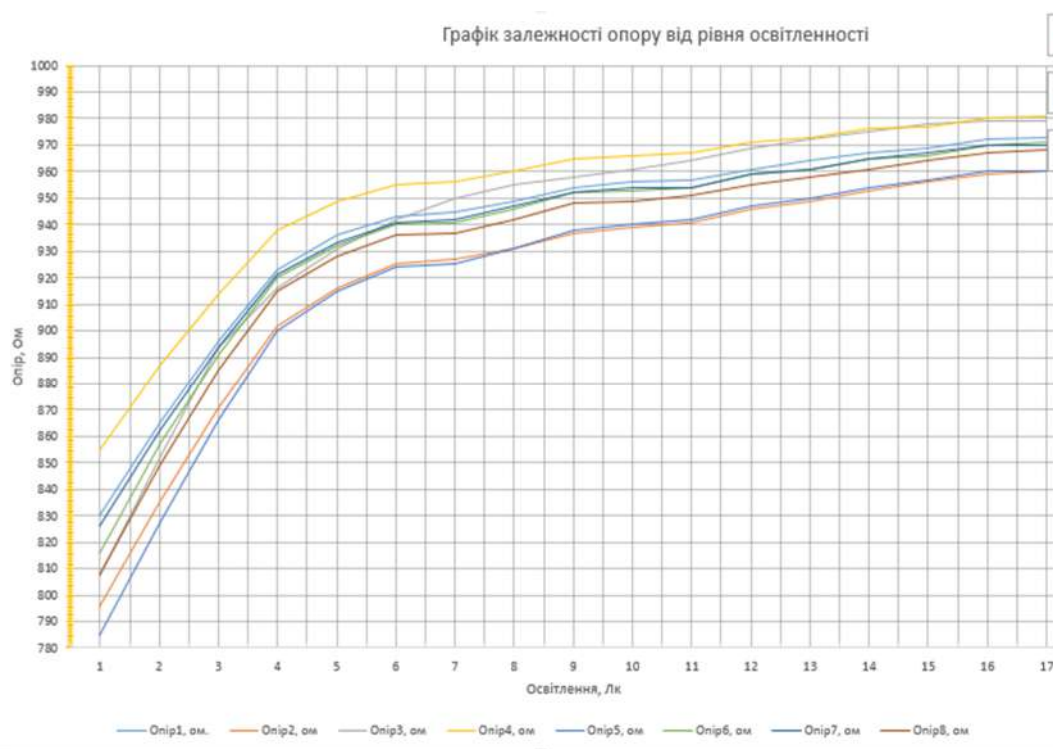


Рис. 3. Калібровочний графік залежності освітленості від потужності

**Висновки і пропозиції.** У статті було описано розробку, виготовлення, калібрування й програмне забезпечення цифрового люксметра – приладу, призначеного для визначення ефективності джерел світла. Розроблено програмне забезпечення для роботи приладу, проведено калібрування приладу, розроблено методику його використання.

#### Список використаних джерел

1. Кожушко Г. М. Стандартизація світлодіодних ламп та світильників в Україні [Електронний ресурс] / Г. М. Кожушко, Л. В. Дугніст. – Режим доступу : <http://tntforum.ukrainianforum.net/t48-topic>.
2. Наумчик П. Універсальний прилад для визначення ефективності джерел світла / П. І. Наумчик, В. О. Миронцов // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 1 (3). – С. 188–193.
3. Гнатюк О. Сучасні люксметри – надійний контроль освітленості за будь-яких умов [Електронний ресурс] О. Гнатюк. – Режим доступу : <http://simvolt.ua/suchasn-lyuksmetri-nadyniy-kontrol-osvtlenost-za-bud-yakih-umov.html>.
3. Вейнерт Д. Светодиодное освещение : справочник / Д. Вейнерт, Ч. Сполдинг. – Philips, 2010. – 156 с.

#### References

1. Kogyshko, G.M., Dygnist, L.V. *Standartyzatsiya svitlodiodnykh lamp ta svitylnykyv v ukrayini [Standardization of LED lamps and fixtures in Ukraine]*. Retrieved from <http://tntforum.ukrainianforum.net/t48-topic>.
2. Naumchyk, P.I., Myrontsov, V.O. (2016). Universalnyi prylad dlia vyznachennia efektyvnosti dzherel svitla [Universal instrument for determining the efficiency of light sources]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no.1 (3), pp. 188–193 (in Ukrainian).
3. Gnatyuk, O. *Suchasni liuksmetry – nadiyniy kontrol osvitenosti za bud-yakyykh umov [Modern luxmeters – reliable control of illumination under any conditions]*. Retrieved from <http://simvolt.ua/suchasn-lyuksmetri-nadyniy-kontrol-osvtlenost-za-bud-yakih-umov.html>.
4. Veinert, D., Spolding, Ch. *Svetodioidnoe osveshchenie: spravochnik Philip [LED Lighting: Reference-book Philips]* (2010).

*Pavlo Naumchyk, Vitaliy Mirontsov*

## UNIVERSAL DEVICE FOR DETERMINING THE EFFICIENCY OF LIGHT SOURCES

**Urgency of the research.** According to the state standards of Ukraine, the quality assessment of lighting devices is carried out according to the following characteristics: light output, light flux, average service life. Therefore, there is a need for an instrument that can measure these characteristics.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Our analysis of publications has shown that methods for assessing the quality of lighting are complicated, and devices are expensive.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** We have proposed a cheaper universal instrument for determining the efficiency of light sources, the main components of which are digital luxmeters and digital wattmeter. In the Article is considered one of the main components of a universal device - digital luxmeter.

**The research objective.** For a universal device for determining the efficiency of light sources is needed a digital luxmeter, which allows determining the magnitude and distribution of the surface illumination.

**The statement of basic materials.** The sensors of our own developed luxmeter are photoresists connected to the Arduino Nano platform. The Article highlights the structure, manufacturing technology, calibration methods and software of this digital luxmeter. Also the technique of work with the device is considered.

**Conclusion.** Our own developed luxmeter is a prototype of a more complex and high-quality device. The next stage in the development of a universal device for determining the effectiveness of light sources is manufacture of a digital wattmeter. The software for the device operation was developed, the device calibration and developed method of its use was done.

**Key words:** light sources; digital light meter; photoresists (LDR); software code for microcontroller; calibration.

*Павел Наумчик, Виталий Миронцов*

## ЦИФРОВОЙ ЛЮКСМЕТР УНИВЕРСАЛЬНОГО ПРИБОРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСТОЧНИКА СВЕТА

Рассмотрена проблема разработки, изготовления, калибровки и программного обеспечения цифрового люксметра – прибора, предназначенного для определения эффективности источников света. Разработана методика работы с цифровым люксметром.

**Ключевые слова:** источники света; цифровой люксметр; фоторезисторы; программный код микроконтроллера; калибровка.

**Наумчик Павел Иванович** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационно-визуальных технологий, метрологии та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Т. Г. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Наумчик Павел Иванович** – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический институт (ул. Т. Г. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Naumchyk Pavlo** – PhD in Pedagogical Sciences, Assistant Professor of Information and Measurement Technology, Metrology and Physics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** naumchick.pavel@gmail.com

**Миронцов Віталій Олегович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Т. Г. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Миронцов Виталий Олегович** – студент, Черниговский национальный технологический институт (ул. Т. Г. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Mirontsov Vitaliy** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

*Роман Єршов, Олександр Савенко, Максим Карпенко,  
Євгеній Лимаренко, Іван Мозговий*

## **ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ РОЗРОБКИ ВБУДОВАНОГО ПРИСТРОЮ «РОЗУМНОГО ОСВІТЛЕННЯ» НА ОСНОВІ МІКРОКОНТРОЛЕРА MSP430**

***Актуальність теми дослідження.** Освітлення споживає 17,5 % всього об'єму виробленої на Землі електроенергії. В деяких регіонах рівень споживання доходить до 50 %. Вдосконалення елементної бази та алгоритмів автономного керування освітленням дозволяє скоротити споживання більше, ніж вдвічі (до 60 %).*

***Постановка проблеми.** Існуючі на сьогодні пристрої «розумного освітлення» або поставляються у вигляді централізованої системи з закритими керуючими протоколами та потужним обчислювачем, або активно використовують існуючу комунікаційну мережу, яка не завжди передбачає розширення.*

***Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто централізовані та децентралізовані рішення, в яких детектування людини в приміщенні виконується за допомогою існуючої мережі пристроїв бездротового обміну даними (ZigBee), відеоспостереження, мікрофонів звукового діапазону. Особлива увага – на способи технічної реалізації апаратної та програмної частин, а також, технології та алгоритми, які при цьому використовувалися: вейвлет-перетворення, розпізнавання образів та регуляторів неklasичної структури.*

***Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Досі не розглянутий клас децентралізованих пристроїв «розумного освітлення», які вбудовуються в освітлювальний пристрій, а також використовують спосіб визначення присутності людини на основі властивих їй діяльності шумів звукового спектру.*

***Постановка завдання.** Спроекувати дешевий та компактний пристрій «розумного освітлення», який може вбудовуватися локально в кожному приміщенні чи навіть його ділянці. Кожен окремих пристрій повинен мати якомога меншу споживану потужність та мінімальний набір датчиків.*

***Викладення основного матеріалу.** Для попереднього підсилення та фільтрації звукового сигналу розраховано аналоговий смуговий фільтр на основі ОП з однополярним живленням. Експериментально отримані АЧХ спектрів шумів, властивих людській діяльності, з урахуванням виконаної класифікації видів діяльності людини. На основі отриманих АЧХ виконувались налаштування фільтру. Поєднано існуючі інструменти для розробки ПЗ таким чином, що дозволяють розробляти та компілювати проект під будь-якою ОС, не використовуючи при цьому закритого та платного ПЗ.*

***Висновки відповідно до статті.** Виконано виділення критеріїв для порівняння децентралізованих пристроїв «розумного освітлення». Запропоновано структуру пристрою, який є дешевою та масштабованою, та такою, що легко модифікується, альтернативою вже існуючим зразкам. По критерію собівартості сенсорної частини пристрій випереджає аналогічні існуючі.*

***Ключові слова:** розумне освітлення; балансування освітленості; детектування присутності людини; децентралізоване керування; наднизьке енергоспоживання; мікрофон; вільне програмне забезпечення.*

**Постановка проблеми.** Електрична енергія відіграє одну з найважливіших ролей у сучасному житті. Хоча на сьогодні її і виробляють з надлишком, цей процес часто супроводжується забрудненням довкілля, тому людство завжди хотіло зменшити нецільове використання електричної енергії. Це досягається або створенням альтернативних джерел енергії, або зменшенням енергоємності споживачів за рахунок підвищення їх ККД. В еру силової імпульсної та керуючої цифрової техніки, цикл розробки сучасної напівпровідникової електроніки йде шляхом мініатюризації фізичних розмірів та оптимізації процесу перемикавання вентилів, наближаючись до фізично можливих меж. Тому подальша оптимізація енергоспоживання полягає у вдосконаленні системотехніки приладів-споживачів та вдосконаленні алгоритмів їх функціонування.

Згідно зі звітом Європейської комісії [1], освітлювальне обладнання споживає близько 17,5 % всього об'єму виробленої на Землі електроенергії. Зокрема, у спальних районах міст та регіонах, де відсутнє масштабне виробництво, рівень споживання доходить до 50 %. Використання нової елементної бази світлогенеруючих пристроїв, вдосконалення технологій генерації та передачі електроенергії та її напівпровідникових перетворювачів, використання адаптивних до активності та потреб людини алгоритмів комутації та керування штучною освітленістю дозволяє скоротити кількість спожитої енергії більше ніж вдвічі (до 60 %). Це робить дослідження способів підвищення енергетичної ефективності освітлювальної техніки актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологія автоматичного «розумного» керування освітленням (Smart Lighting) не є новинкою, але вже не тільки стала окремою

темою для досліджень, але й світовим брендом. Кожний наявний у виробництві зразок контролера використовує свої індивідуальні набори датчиків, алгоритми обробки та схемотехніку. Основне завдання таких пристроїв – приймати рішення про ввімкнення світла тільки тоді, коли воно потрібні людині. Ця задача в свою чергу зводиться до визначення присутності людини в зоні дії пристрою.

У фундаментальному огляді [2] розглянуті всі можливі методики детектування й аналізу переміщень людини у просторі за допомогою алгоритмів розпізнавання образів та комп'ютерного бачення. Виділяють такі різновиди цих алгоритмів:

1. Детектування руху – за допомогою сегментування рухів у часі (методи обчислення різниці між картинками фону, статистичного аналізу цієї різниці та детектування оптичного потоку) та класифікації рухомих об'єктів (на основі аналізу форми об'єкта та на основі аналізу динаміки руху);

2. Слідкування за рухом (супроводження) – на основі виділення та спостереження за 2D або 3D моделями фігури людини, за контуром її постаті або ж за специфічними опорними точками (очі й ніс);

3. Визначення поведінки об'єкта – використовують методи на основі динамічного трансформування шкали часу, прихованих ланцюгів Маркова, нейронних мереж, кореляції з шаблоном, за допомогою простору станів та семантичного опису.

Всі вищезгадані методики дозволяють отримати системі керування набагато більше відомостей про людину, ніж необхідно для того, щоб визначити коли і на якому рівні вмикати освітлення, і використовуються для зовнішнього візуального спостереження для визначення об'єму та швидкості руху в натовпі; інтелектуального інтерфейсу взаємодії «людина – машина»; з метою діагностування стану здоров'я та настрою по динаміці руху.

У роботі [3] пропонується детектування рухової активності людини на міських вулицях та в офісних будівлях за допомогою існуючої розгалуженої системи приладів зовнішнього відеоспостереження (сигналізації, відеокамери, відеореєстратори). Зокрема, підвищення ефективності освітлення досягається не лише за рахунок розпізнавання образів рухомих статур людей, а й з урахуванням орієнтації їхніх голів та за напрямками поглядів. Це рішення потребує наявності розподіленою мережі регульованих контролерів світлодіодів та потужного сервера у складі розгалуженої комп'ютерної мережі. Сервер перехоплює відеопотік, у режимі реального часу розпізнає образи, приймає рішення про зону й інтенсивність ввімкнення освітлення та відправляє команди на локальні контролери.

Компромісне і відносно недороге рішення для хатнього Smart Lighting з практичним втіленням наведено у [4]. Побудована на загальнодоступних датчиках та ПК загального призначення з адаптивністю до зображення з Web-камери керує яскравістю та кольором розподілених RGB LED стрічок. Мережева взаємодія побудована на інтерфейсах Wi-Fi та Bluetooth, а програмне забезпечення – на мовах C++ та C#, які можуть легко перетворитись на виконувані файли за допомогою безкоштовно розповсюджуваних компіляторів. Інша практична реалізація [5] демонструє просту методику взаємодії вбудованої частини на основі Arduino та керуючої програми, реалізованої як мобільне застосування Android.

У роботі [6] організація Smart Lighting мережі показана у розрізі структури інтелектуальної електричної мережі Smart Grid, одним з кінцевих вузлів якої є адаптивна система освітлення. Розкриті декілька прийомів та методів, які у сукупності дозволили зекономити 44 % електроенергії, а саме: на етапі моделювання та під час зонального керування освітленість приміщення представлена у вигляді ізоліній освітленості, нанесених на план приміщень; вдало обрано тип мережі за її охопленням – персональна бездротова мережа датчиків (PWSN на основі мікросхем MSP430 та CC2500 від Texas Instruments), а також вузлові комунікаційні пристрої (DALI); регулятор змішаної струк-

тури, який містить класичний ПІД-алгоритм для швидкого регулювання у видимому діапазоні та планувальник, що виконує фонове регулювання на основі часу доби та наявності руху (в інфрачервоному діапазоні) у приміщенні.

Подальший розвиток алгоритмів керування освітленістю полягає в децентралізації самого процесу керування та виборі датчиків з простим принципом роботи, що різко зменшує як собівартість системи (з рахунок усунення комутаційного обладнання), так і спрощує ієрархію програмного забезпечення та складність обчислень.

Децентралізовані алгоритми балансування освітленості, запропоновані у [7], ставлять за мету отримати максимально рівномірне освітлення щодо підлоги приміщення, маючи мінімальну кількість інформації з датчиків та за умови відсутності контролера для централізованого балансування освітленості між його окремими джерелами. Задача вирішена за допомогою інтеграції контролера в кожне джерело освітлення, при цьому виникають проблеми з алгоритмом урахування ефекту перехресного освітлення, якому необхідний апріорний цільовий рівень освітленості. Докладно показано й математичну модель балансування освітленості, вказані структурні елементи регулятора та ділянки тракту обробки, де необхідно виконувати калібрування показників.

Запропонований у [8] алгоритм на основі вейвлет-перетворення дозволяє визначити не тільки відмінності у формі звукового сигналу, а й враховує зміну форми цього сигналу з плином часу. Оброблені звуки зберігаються в системі обробки через набір розрахованих вейвлет-коефіцієнтів для всіх частотних діапазонів. З них набирається статистична вибірка великого об'єму, збережена у вигляді гістограми коефіцієнтів, яка у свою чергу слугує вибіркою для машинного навчання класифікатора на основі методу опорних векторів (State Vector Method, SVM). Також у роботі зазначається, що ВЧ складові шумів мають значно менші амплітуди коливань, і це може негативно вплинути на якість детектування всіх можливих рухів людини. Тому використовується масштабування отриманих вейвлет-коефіцієнтів з підсиленням в області ВЧ.

У роботі [9] запропоновано оригінальний спосіб детектування людини у приміщенні на основі спостереження за зміною рівня потужності сигналу (на боці приймача), випромінюваного передавачем бездротового інтерфейсу ZigBee. Цей спосіб заснований на факті, що людське тіло є перешкодою для проходження електромагнітних хвиль, розсіюючи частину потужності як тепло чи відбиваючи в різні боки. Метод використовує можливості вбудованого в кожний приймач ZigBee детектора (RSSI) несучої частоти 2,4 ГГц, тому може використовувати вже наявні канали бездротового зв'язку. До переваг вищезгаданої роботи варто віднести й наведену структуру апаратної та програмної частини системи, а також використання вільного програмного забезпечення (ПЗ), що відповідає стандарту POSIX/C.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** З розглянутих вище джерел випливає, що перший крок до економії електроенергії – вмикати освітлення, коли у приміщенні є людина, і відрізнити присутність людини від пересування тварин або рухомих електромеханічних пристроїв. Другий крок – регулювати рівень освітленості і залежності від часу доби, пори року та існуючого рівня природного освітлення у приміщенні. Третій крок – ідентифікувати вид активності людини і відповідно до цього додатково регулювати інтенсивність та кольорову температуру освітлення.

Серед розглянутих рішень можна виділити дві великі групи: централізовані системи, які оперують даними з вже існуючої мережі датчиків, з показань яких методами непрямого аналізу приймають рішення про наявність людини у приміщенні, та децентралізовані системи з набору однакових пристроїв, які балансують освітленість окремих ділянок на основі локальних показань датчиків.

Водночас відсутній клас пристроїв, в яких не обов'язково наявність комунікаційного інтерфейсу в поєднанні з набором датчиків на основі загальнодоступної елементної бази та відкритості циклу розробки програмного забезпечення.

**Мета статті.** Метою дослідження, висвітленого в цій статті, є вибір алгоритмічних, схемотехнічних та конструкторських рішень, які дозволять створити дешевий та компактний пристрій інтелектуального керування освітленням (Smart Lighting), який може вбудовуватися локально в кожному приміщенні чи навіть його ділянці. Виходячи з цього, кожний окремих пристрій повинен мати якомога меншу споживану потужність та мінімальний набір датчиків.

**Виклад основного матеріалу.** Виходячи з робіт [1–9] можна класифікувати види активності людини та, згідно з діючими в міжнародному законодавстві нормами, зіставити кожному різновиду вимоги до рівня освітленості (Brightness Level, BL) та світлової температури (Color temperature, CT) (рис. 1).

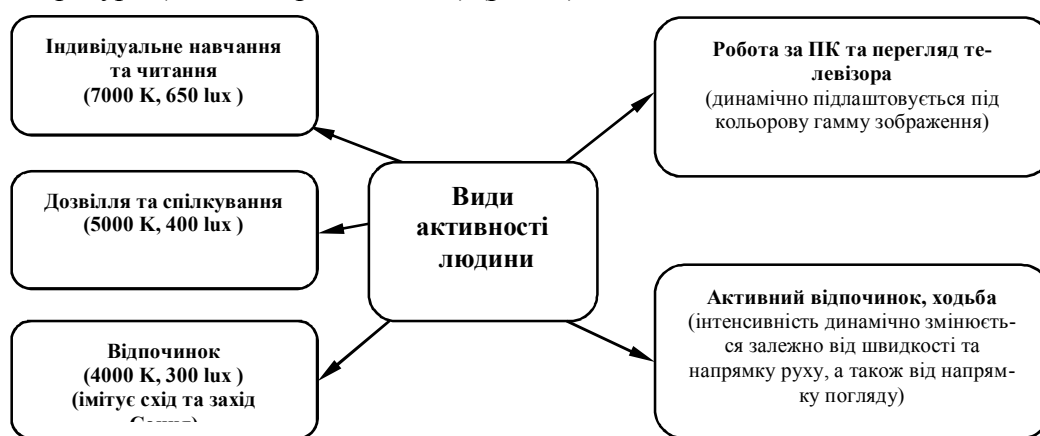


Рис. 1. Узагальнені види активності людини протягом дня та необхідна для цього освітленість

Незважаючи на високу вибірковість і точність прийняття рішення про ввімкнення освітлення у розглянутих вище системах, вони непридатні для встановлення безпосередньо у складі освітлювального пристрою як вбудованої частини, оскільки потребують габаритних і відносно дорогих датчиків, а також обчислювальної системи.

Рухи людини по приміщенню супроводжуються звуками, які мають широкий звуковий спектр. Так, низькочастотні складові зумовлені тертям шкіри, тканин та паперів, а високочастотні – цоканням підборів, проковзуванням абразивної підошви в моменти торкання підлоги ногою.

Один з можливих способів детектування присутності та руху людини є використання датчика на основі мікрофона. Це дуже дешеве та просте в апаратній реалізації рішення. Структурну схему пристрою «розумного освітлення», запропонованого авторами, показано на рис. 2.

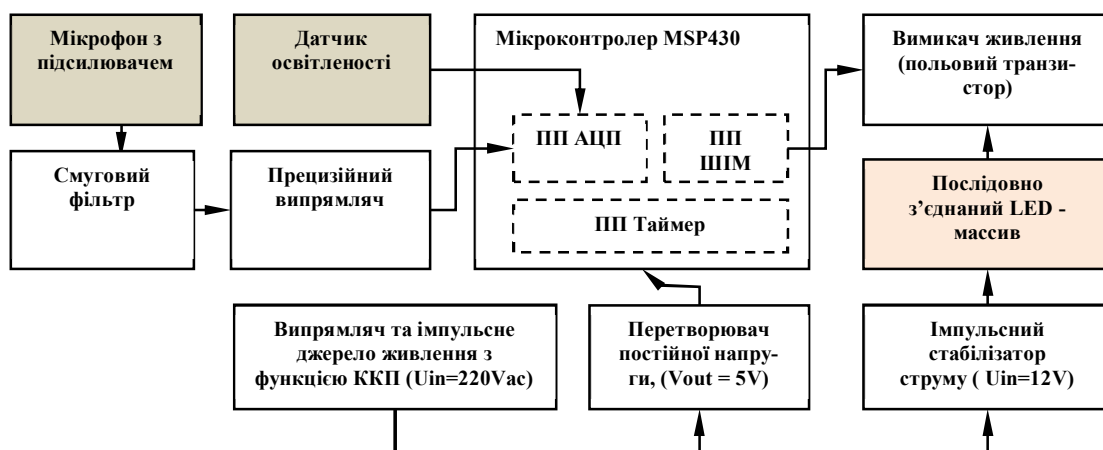


Рис. 2. Структурна схема запропонованого автономного пристрою «розумного освітлення»

Відповідно до схеми на рис. 2, мікрофон та його підсилювач слугують датчиком присутності людини. Основна проблема полягає в тому, що він чутливий і до інших шумів, спричинених будь-яким зовнішнім джерелом звуку. Підсилювач, розташований за фільтром, слугує для розділення шуму на високі та низькі частоти.

Мікроконтролер (МК) необхідний для обробки вхідного звукового сигналу та керування масивом LED. У більшості МК є багатоканальний інтегрований АЦП, який працює на напругах від 0 до 3 В. Для належного узгодження АЦП з підсилювачем нам потрібен прецизійний випрямляч, який забезпечить такий рівень напруги [10–12]. Для живлення МК та ОП, що працюють на напругах 5 В, встановлено імпульсний понижуючий перетворювач з 12 у 5 В. Для аналізу рівня навколишнього освітлення встановлено датчик освітленості, який виключає джерело освітлення за ясної погоди вдень. Вимикач живлення реалізовано на польовому транзисторі, затвор якого приєднаний до вихідної ніжки МК, на яку комутується вихід ПП ШІМ у складі МК. Це дозволяє не тільки вмикати масив LED, а й регулювати рівень його яскравості.

Для побудови смугового фільтра [10–12] використано багатоконтурний від’ємний зворотний зв’язок. Його передаточна характеристика описана залежністю (1), а відповідна принципова схема фільтра зображена на рис. 3.

$$A(s_n) = \frac{-\frac{R_2 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_r s_n}{1 + \frac{2R_1 R_3}{R_1 + R_3} C \omega_r s_n + \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 + R_3} C^2 \omega_r^2 s_n^2} \quad (1)$$

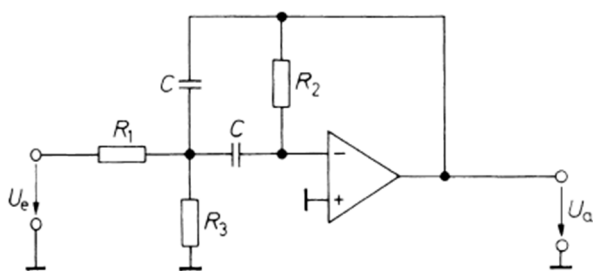


Рис. 3. Смуговий фільтр низьких частот з багатоконтурним від’ємним зворотним зв’язком

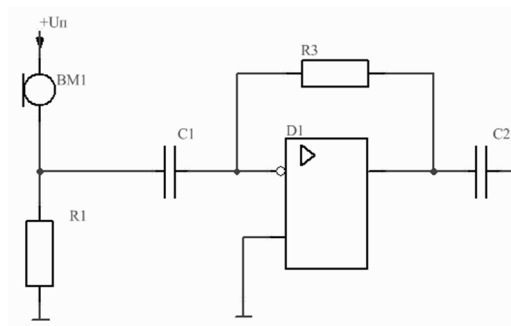


Рис. 4. Підсилювач мікрофона

Коефіцієнт добротності фільтра:

$$Q = \pi R_2 C f_r,$$

де  $f_r$  – резонансна частота. З попереднього виразу смугового фільтра:

$$B = \frac{f_r}{Q} = \frac{1}{\pi R_2 C}.$$

Для підсилювача мікрофона (рис. 4) може бути обчислене виключення  $f_c$ :

$$f_c = \frac{1}{2\pi R_i C_1},$$

де  $R_i$  – подільник напруги опору  $R_1$ , який паралельно приєднаний до мікрофона;  $C_1$  – ємність, яка встановлена перед операційним підсилювачем.

Коефіцієнт підсилення по напрузі  $K_U$  для підсилювача мікрофона:

$$K_U = -\frac{R_3}{R_i},$$

де  $R_3$  – резистор у зворотному зв'язку;  $R_i$  – подільник напруги опору  $R_1$ , який паралельно приєднаний до мікрофону.

У процесі розробки пристрою проведено дослідження з метою виявлення, в яких діапазонах частот людина створює шуми протягом її основних видів діяльності (рис. 1). Цей етап надзвичайно важливий, тому що саме він впливає на відсоток хибних спрацьовувань пристрою, спричинених такими джерелами шумів, як гроза, транспорт, падаючі речі тощо.

Деякі з зафіксованих шумів були проаналізовані з використанням середовища MATLAB. Нині пристрій визначає 4 типи найбільш типових шуми, які можуть бути результатом людської діяльності. Для них побудовано АЧХ, які зображено на рис. 5.

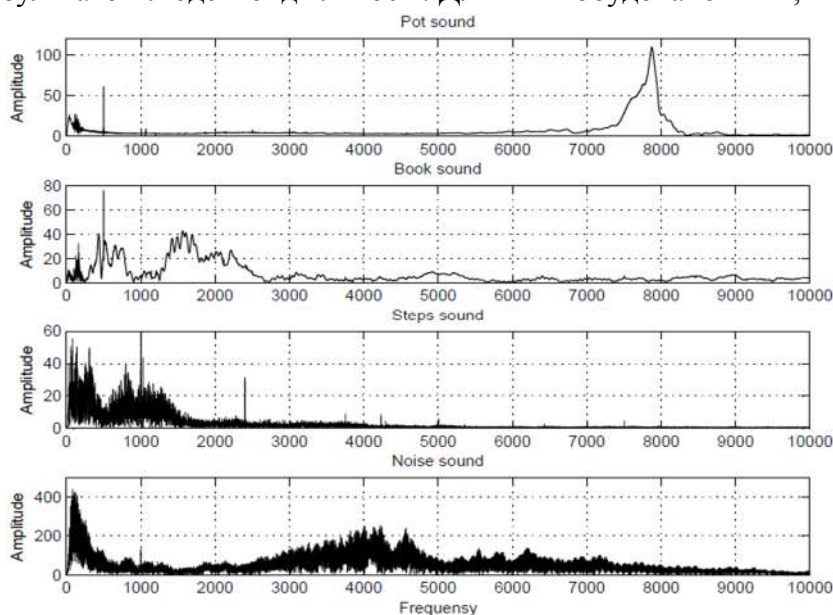


Рис. 5. АЧХ різних типів шумів: а – удар по металевому предмету (чашці); б – жбурляння паперового предмета (книжки); в – кроки людини; г – одночасно всі шуми

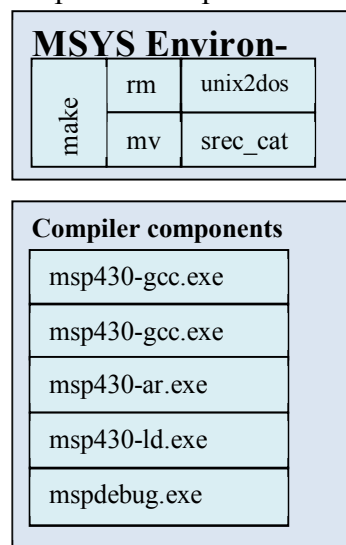


Рис. 6. Набір інструментів та оточення компілятора

Імпорт у середовище та візуалізація графіків шумів виконується тривіально за допомогою стандартної функції `wavread` MATLAB. Вона перетворює звуковий файл у масиви відліків амплітуд (та сітку часу), з якого у свою чергу отримується АЧХ за допомогою швидкого перетворення Фур'є (ШПФ).

Для кожного типу загальноновживаних типів датчиків детектування руху людини була розрахована собівартість пристрою, за умови створення його на цьому датчику та



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

необхідній для нього обв'язці без зміни інших структурних елементів схеми. Розрахунково проведено для таких типів:

- 1) Інфрачервоні датчики руху (Infrared, IR);
- 2) Ультразвукові датчики руху (Ultrasonic, US);
- 3) Мікрохвильові датчики руху (Microwave);
- 4) Комбіновані датчики руху (Combined motion sensor, CMS).

Таблиця показує основні відмінності між запропонованим рішенням (\*) та найбільш популярними недорогими датчиками, наявними на ринку з урахуванням особливостей їх роботи.

Таблиця

*Порівняння характеристик пристроїв з різними типами датчиків детектування руху*

Тип датчика	Зона охоплення	Негативний вплив на людей та тварин	Працює крізь різні перешкоди	Наявність хибних спрацьовувань	Собівартість пристрою, УАН
IR	120° / 9m	-	-	++	198
US	170° / 7m	+	-	+	264
MICROWAVE	360° / 8m	++	+	+	317
CMS	150° / 9m	-	+	+	871
Мікрофонний (*)	360° / 15m	-	+	+++	105

Крім перерахованих особливостей пропонований нами пристрій має наднизький рівень споживання енергії завдяки тому, що більшість часу він залишається в «сплячому режимі» і обчислення проводяться лише з наявності високого рівня сигналу, що надходить з мікрофона. До недоліків варто віднести великий відсоток хибних спрацьовувань, який зумовлений невеликим набором еталонних зразків шуму.

Особливість процесу компіляції ПЗ полягає в тому, що він «подвійний» кросплатформний (рис. 6). По-перше, компіляція підтримується за допомогою універсального набору POSIX-утиліт, який був скомпільований для платформи Windows. Він представлений дистрибутивом MINGW-MSYS-1.0.11 [13]. Це дозволяє використовувати сценарії Makefile для утиліти make з метою виконувати автоматичну збірку, виконувати повторну вибірку компіляцію та очищувати проект, не потребуючи платних середовищ розробки вбудованого ПЗ для МК.

По-друге, ми виконуємо компіляцію на x86-сумісній платформі, але цільовою платформою є MSP430 (16-бітний RISC-мікроконтролер, який виробляється Texas Instruments). Він представлений набором інструментів MSP430-GCC [14], створений для POSIX-сумісних операційних систем (ОС), який скомпільований для платформи Windows. Це дозволяє нам використовувати препроцесор, компілятор, компоувальник мов C/C++ та утиліти відлагодження для виконання повного циклу компіляції, розгортки та тестування ПЗ. Повна послідовність дій по створенню прошивки МК зображено на рис. 7.

Після встановлення MSYS та MSP430-GCC необхідно додати шляхи до виконуючих файлів інструментарію та директорій бібліотек, відредагувавши змінну оточення ОС з назвою PATH. Також інструменти libusb повинні згенерувати \*.INF-файл програмного драйверу для ІМС перетворювача інтерфейсів USB-to-JTAG, щоб та правильно визначалася ОС та працювала.

Для коректного процесу збірки ми повинні відправляти компоувальнику (linker) не лише об'єктні файли (\*.o), скомпільовані користувачем та попередньо скомпільовані статичні бібліотеки (які є окремо скомпільованими частинами стандартної бібліотеки мов C/C++ для пристроїв з малим об'ємом пам'яті), а й специфічні ключі та файл конфігурації розмітки пам'яті (\*.MAP), в якому типи пам'яті, наявної МК, представлені

пойменованими сегментами та налаштовані їх властивості (розмір сектора, початкова адреса та зміщення, обмеження доступу).

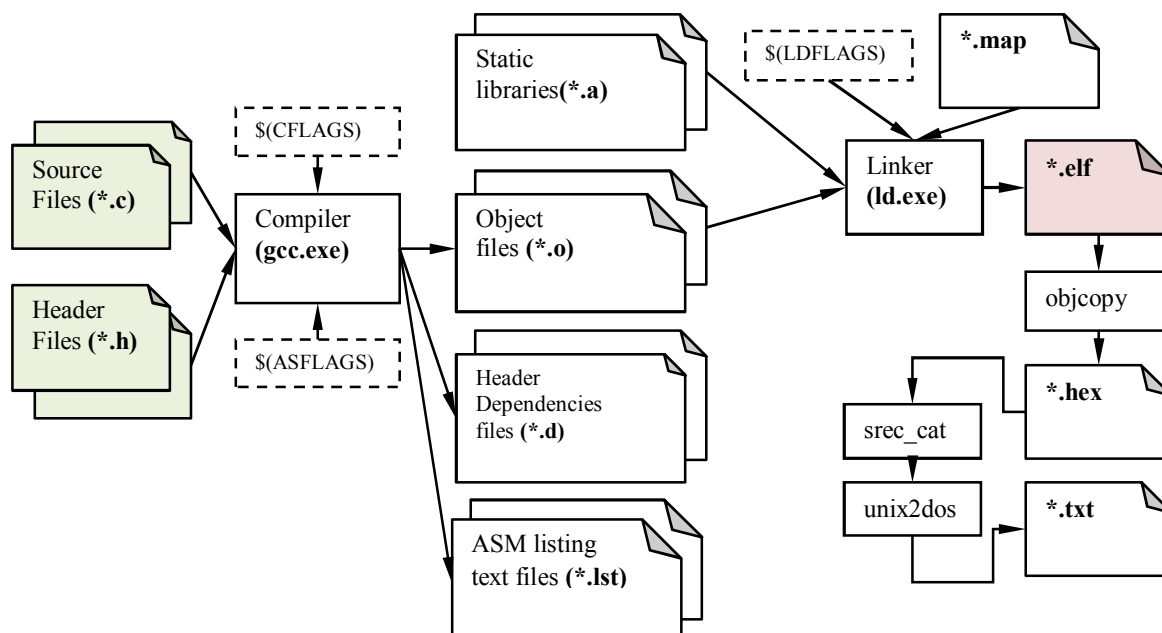


Рис. 7. Етапи компіляції, сформовані сценарієм «Makefile»

Для повної сумісності в результуючих тестових файлах між різними типами ОС, ми використовуємо одну з утиліт, – “unix2dos” чи “dos2unix”, – для перетворення коду нового рядка (повернення каретки (‘CR’) та переводу рядка (‘LF’)).

Відповідно до рис. 7 у кінці процесу узгодження міжмодульних зв’язків (компоновання) ми отримуємо декілька виконуваних файлів з різними розширеннями та внутрішньою організацією, які придатні для конфігурування МК за допомогою більшості використовуваних на практиці поєднань програматорів-відлагоджувачів та завантажувачів-відлагоджувачів пам’яті FLASH. Асемблерний лістинг присутній для більш глибокого розуміння процесу компіляції та оптимізації, і це особливо корисно у разі виявлення помилок при оптимізації програми.

Цільовий вихідний файл для МК MSP430G2553 з наднизьким енергоспоживанням збирається в Unix \*.ELF формат. Його можна завантажити в пристрій, використовуючи утиліту mspdebug, яка також дозволяє інтерактивно очищувати програму з пам’яті FLASH, зупиняти та перезапускати попередньо завантажену конфігурацію, виконувати покрокове відлагодження в консольному режимі. Для встановлення з’єднання необхідно лише визначити модель МК та тип ІМС перетворювача інтерфейсів USB-to-JTAG, тому що є різні ревізії стенда MSP430-LAUNCHPAD [15] комплектуються різними ІМС USB-to-JTAG.

**Висновки і пропозиції.** На основі аналізу новіших періодичних джерел та існуючих на ринку рішень виділено досі не розглянутий клас пристроїв «розумного освітлення» – децентралізовані, які вбудовуються в освітлювальний пристрій та містять не більше двох типів загальнодоступних датчиків, а також спосіб визначення присутності людини на основі властивих їй діяльності шумів звукового спектра. Для попереднього підсилення та фільтрації звукового сигналу розраховано аналоговий смуговий фільтр на основі ОП з однополярним живленням. Налаштування фільтра виконувались на основі АЧХ спектрів шумів, властивих людській діяльності, які отримані нами експериментально та з урахуванням класифікації видів діяльності людини.

Запропоновано структуру пристрою, який є дешевою і масштабованою та такою, що легко модифікується, альтернативою вже існуючим зразкам. Виконано виділення критеріїв для порівняння децентралізованих пристроїв «розумного освітлення». За критерієм собівартості сенсорної частини пристрій випереджає аналогічні існуючі.

Поєднано існуючі інструменти для розробки ПЗ таким чином, що дозволяють розробляти та компілювати проект під будь-якою ОС, не використовуючи при цьому закритого та платного ПЗ. До подальших напрямків дослідження та вдосконалення варто віднести: детальнішу класифікацію видів шумів, які спричинені людиною й знаходження критеріїв для їх частотного відокремлення від сторонніх шумів та один від одного з метою зменшення числа хибних спрацьовувань пристрою; заміна частини аналогових каскадів на програмно реалізовані фільтри засобами МК, оскільки його обчислювальні ресурси використані не повністю завдяки використанню цілочисельної реалізації алгоритму ШПФ.

### Список використаних джерел

1. Michael Ziegler et. al. (2013). "Lighting the cities-accelerating the deployment of innovative lighting in European cities," European Commission Report 0048. European Union.
2. L. Wang, W. Hu, and T. Tan (2003). "Recent developments in human motion analysis," in *Pattern recognition*, 36 (3), pp. 585–601.
3. S.Y. Chun, C.S. Lee, and J.S. Jang (2015). "Real-time smart lighting control using human motion tracking from depth camera," in *Journal of Real-Time Image Processing*, 10(4), pp. 805–820.
4. M.A.E.L. Mowad, A. Fathy, and A. Hafez (2014). "Smart home automated control system using android application and microcontroller," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), pp. 935–939.
5. Sina Afshari, et al. (2012). "An adaptive smart lighting system," *Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*. ACM.
6. Y.K. Tan, T.P. Huynh, and Z. Wang (2013). "Smart personal sensor network control for energy saving in DC grid powered LED lighting system," *IEEE Transactions on smart grid*, 4(2), pp. 669–676.
7. M.T. Koroglu and K.M. Passino (2014). "Illumination balancing algorithm for smart lights," *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22 (2), pp. 557–567.
8. K. Quennesson, E. Ioup and C.L. Isbell (2006). "Wavelet Statistics for Human Motion Classification," In *AAAI*.
9. B. Mrazovac, M.Z. Bjelica, D. Kukulj, B.M. Todorovic and D. Samardzija (2012). "A human detection method for residential smart energy systems based on ZigBee RSSI changes," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3).
10. Bonnie Baker (2005). "A Baker's Dozen: Real analog solutions for digital designers," Elsevier.
11. P. Horowitz and W. Hill (1989). "The art of electronics," Cambridge: Cambridge university press.
12. U. Tietze, C. Schenk and E. Gamm (2015). "Electronic circuits: handbook for design and application," Springer.
13. Minimalist GNU for Windows [Electronic resource], URL: <http://www.mingw.org/wiki/msys>
14. GCC – Open Source Compiler for MSP430 Microcontrollers [Electronic resource]. URL : <http://www.ti.com/tool/msp430-gcc-opensource>.
15. MSP430 LaunchPad Value Line Development kit [Electronic resource]. URL : <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2>.

### References

1. Michael Ziegler et. al. (2013). Lighting the cities-accelerating the deployment of innovative lighting in European cities. *European Commission Report* 0048. European Union.
2. L. Wang, W. Hu, and T. Tan (2003). Recent developments in human motion analysis. *Pattern recognition*, 36 (3), pp. 585–601.
3. S.Y. Chun, C.S. Lee, and J.S. Jang (2015). Real-time smart lighting control using human motion tracking from depth camera. *Journal of Real-Time Image Processing*, 10(4), pp. 805–820.

4. M.A.E.L. Mowad, A. Fathy, and A. Hafez (2014). Smart home automated control system using android application and microcontroller. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(5), pp. 935–939.
5. Sina Afshari, et al. (2012). An adaptive smart lighting system. *Proceedings of the Fourth ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Buildings*. ACM.
6. Y.K. Tan, T.P. Huynh, and Z. Wang (2013). Smart personal sensor network control for energy saving in DC grid powered LED lighting system. *IEEE Transactions on smart grid*, 4(2), pp. 669–676.
7. M.T. Koroglu and K.M. Passino (2014). Illumination balancing algorithm for smart lights. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22 (2), pp. 557–567.
8. K. Quennesson, E. Ioup and C.L. Isbell (2006). Wavelet Statistics for Human Motion Classification. In *AAAI*.
9. B. Mrazovac, M.Z. Bjelica, D. Kukulj, B.M. Todorovic and D. Samardzija (2012). A human detection method for residential smart energy systems based on ZigBee RSSI changes. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 58(3).
10. Bonnie Baker (2005). *A Baker's Dozen: Real analog solutions for digital designers*. Elsevier.
11. P. Horowitz and W. Hill (1989). *The art of electronics*. Cambridge: Cambridge university press.
12. U. Tietze, C. Schenk and E. Gamm (2015). *Electronic circuits: handbook for design and application*. Springer.
13. *Minimalist GNU for Windows* Retrieved from <http://www.mingw.org/wiki/msys>.
14. *GCC – Open Source Compiler for MSP430 Microcontrollers*. Retrieved from <http://www.ti.com/tool/msp430-gcc-opensource>.
15. *MSP430 LaunchPad Value Line Development kit*. Retrieved from <http://www.ti.com/tool/msp-exp430g2>.

*Roman Yershov, Aleksander Savenko, Maxym Karpenko,  
Yevhenii Lymarenko, Ivan Mozghoviy*

### TECHNICAL ASPECTS OF DEVELOPMENT EMBEDDED “SMART LIGHTING” DEVICE BASED ON MSP430 MICROCONTROLLER

**Urgency of the research.** Lighting consumes around of 17.5% of the total volume of electricity produced on Earth. In some regions the consumption reaches to 50%. Improving of electronic devices and algorithms for autonomous lighting control reduces the consumption of more than a half (60%).

**Target setting.** Existing "smart lighting" devices is supplied as a centralized system with closed protocols and managers by a powerful computer, or actively using existing communications network, which is not always provides for extension.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The centralized and decentralized solutions of the human indoors detection is performed by using the existing network devices for wireless communications (ZigBee), video surveillance, and audio range microphone. Particular attention was acted on how the technical implementation of the hardware and software parts, as well as technologies and algorithms that were used in those solutions, wavelet transform, pattern recognition and regulators non-classical structure.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Still not researched class of decentralized "smart lighting" devices, that are embedded into a lighting device and use method of determining the presence of humans by the their noise sound spectrum.

**The research objective.** Design a cheap and compact "smart lighting" device that can be built-in locally in each room, or even its part. Each device must have as less power consumption as possible and a minimal set of sensors.

**The statement of basic materials.** For pre-amplification and filtering of sound signal the analog band-pass filter based on unipolar OpAmp was designed. The frequency responses (spectrums) of the noises caused by human activity, taking into account the classification of those activities, was experimentally measured. Combinations of existing software development tools that allows to develop and compile a project under any operating system, without using proprietary software was composed and assembled.

**Conclusions.** The set of selection criteria for comparison decentralized "smart lighting" devices was done. The structure of the cheap and scalable device, which is easily modified unlike to existing models, was proposed. On the cost of sensor part the proposed device ahead of similar ones.

**Key words:** smart lighting, illumination balancing, human detection, decentralized control, ultra low-power, microphone sensor, freeware.

*Роман Ершов, Александр Савенко, Максим Карпенко,  
Евгений Лимаренко, Иван Мозговой*

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ВСТРОЕННОГО ПРИБОРА «УМНОГО ОСВЕЩЕНИЯ» НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА MSP430**

*Существующие устройства «умного освещения» или поставляются в виде централизованной системы с закрытыми управляющими протоколами и мощным вычислителем, или активно используют существующую коммуникационную сеть, которая не всегда предполагает расширение. До сих пор не рассмотрен класс децентрализованных устройств «умного освещения», которые встраиваются в осветительное устройство, а также используют способ определения присутствия человека на основе присущих его деятельности шумов звукового спектра.*

*Для усиления и фильтрации звукового сигнала рассчитан аналоговый полосовой фильтр на основе ОУ с однополярным питанием. Экспериментально получены АЧХ спектров шумов, присущих человеческой деятельности, с учетом выполненной классификации видов деятельности человека.*

*Предложена структура устройства, которое является дешевой альтернативой уже существующим образцам. Выполнено выделение критериев для сравнения децентрализованных устройств «умного освещения». По критерию себестоимости сенсорной части устройство опережает аналогичные.*

**Ключевые слова:** умное освещение; балансировка освещенности; детектирование присутствия человека; децентрализованное управление; сверхнизкое энергопотребление; микрофон; свободное программное обеспечение.

**Ершов Роман Дмитриевич** – асистент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Ершов Роман Дмитриевич** – асистент кафедри промислової електроніки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Yershov Roman** – assistant of Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** roman.d.yershov@gmail.com

**Савенко Олександр Васильович** – старший викладач кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Савенко Александр Васильевич** – старший преподаватель кафедры биомедицинских радиоэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Savenko Alexander** – Senior Lecturer of Biomedical Radio-Electronic Devices and System Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** sav@inel.stu.cn.ua

**Карпенко Максим Володимирович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Карпенко Максим Владимирович** – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Karpenko Maxym** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**Лимаренко Євгеній Юрійович** – студент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Лимаренко Евгений Юрьевич** – студент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Lymarenko Yevhenii** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** yevhen.lymarenko@gmail.com

**Мозговой Иван Владиславович** – студент, НТУУ "КПІ" ім. І Сікорського (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Мозговой Иван Владиславович** – студент, НТУУ "КПІ" им. И. Сикорского (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Mozghoviy Ivan** – student, NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** mozg.v34@gmail.com

УДК 621.383:621.355

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-162-171

*Катерина Рева, Сергій Степенко*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції в світовій енергетиці стимулюють істотне зростання інтересу до альтернативних джерел енергії.

**Постановка проблеми.** В даний час набули широкого розповсюдження інтелектуальні системи електроживлення (системи Smart Grid). Широкому впровадженню та розвитку даних систем сприяють не лише технічні рішення, але й організаційні заходи, зокрема, запровадження «зелених» тарифів на електроенергію, вироблену на основі відновлюваних джерел.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наведені дані свідчать про недостатньо ефективне використання встановлених систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів і, відповідно, необхідність глибокого розгляду шляхів та засобів забезпечення ефективності автономних систем електроживлення на основі ФЕП.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В розглянутих джерелах не запропоновано єдиного універсального способу вибору акумуляторів для подібних систем.

**Постановка завдання.** Провести огляд та класифікацію технічних засобів забезпечення ефективного функціонування автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів.

**Викладення основного матеріалу.** Розглянуто опис основних типів фотоелектричних перетворювачів, їх основні параметри та характеристики. А також, розглянуті основні складові системи Smart Grid, сучасні тенденції в світовій енергетиці та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики в Україні. Описані основні елементи структурної схеми фотоенергетичних систем, а також їх функції. Проаналізовані переваги та недоліки основних типів акумуляторів (елементів накопичення електроенергії), щодо їх основних параметрів, класифікації, вартості, часу життя, заряду та перезаряду.

**Висновки.** Для забезпечення відповідної якості та надійності систем електроживлення на основі альтернативних джерел енергії в Україні необхідно впроваджувати нові технології та стандарти, нормативно-правові акти. Щодо вибору елементів електроживлення більш доцільне використання саме свинцево-кислотних. Вони більш дешеві та прості у використанні, не вибагливі до умов зберігання та експлуатації, а також досить поширені на ринку.

**Ключові слова:** інтелектуальні електромережі; сонячна електроенергетика; фотоелектричні перетворювачі (ФЕП); автономна система електроживлення; елементи накопичення електроенергії.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції у світовій енергетиці стимулюють істотне зростання інтересу до альтернативних джерел енергії. Враховуючи дедалі більше використання декількох джерел енергії в одній системі, нині широкого розповсюдження набули інтелектуальні системи електроживлення (так звані Smart Grid). Уперше термін Smart Grid використовувався Массудом Аміном та Брюсом Волленбергом у публікації «До інтелектуальної мережі» у 1998 р. Розумні мережі електропостачання (англ. Smart Grid) – це модернізовані мережі електропостачання, які використовують інформаційні та комунікаційні мережі, технології для збору інформації про енерговиробництво та енергоспоживання, що дозволяє автоматично підвищувати ефективність, надійність, економічну вигоду.

Надзвичайно важливу роль у системах Smart Grid відіграє надійність (як інформаційна, так і фізична). Крім того, технологія дозволяє об'єднувати в мережу поновлювані джерела енергії (вітрову, сонячну) – «розумні» мережі допомагають боротися зі зміною клімату [1]. Міжнародним дослідним центром у галузі енергетики VaasaETT сформовано «Вісім особливостей інтелектуальних мереж», представлених на рис. 1 [2]. Вкрай важливо адаптувати елементи Smart Grid для українських реалій, здійснити уточнення базових архітектурних рішень, розробити типові архітектури для різних класів Smart Grid [3]. Однією з основних складових Smart Grid є відновлювані джерела енергії, які створюють додаткові (а в деяких випадках – і основні) потужності, що використовуються споживачем [4]. Широкому впровадженню та розвитку систем Smart Grid сприяють не лише технічні рішення, але й організаційні заходи, зокрема, запровадження «зелених» тарифів на електроенергію, вироблену на основі відновлюваних джерел.

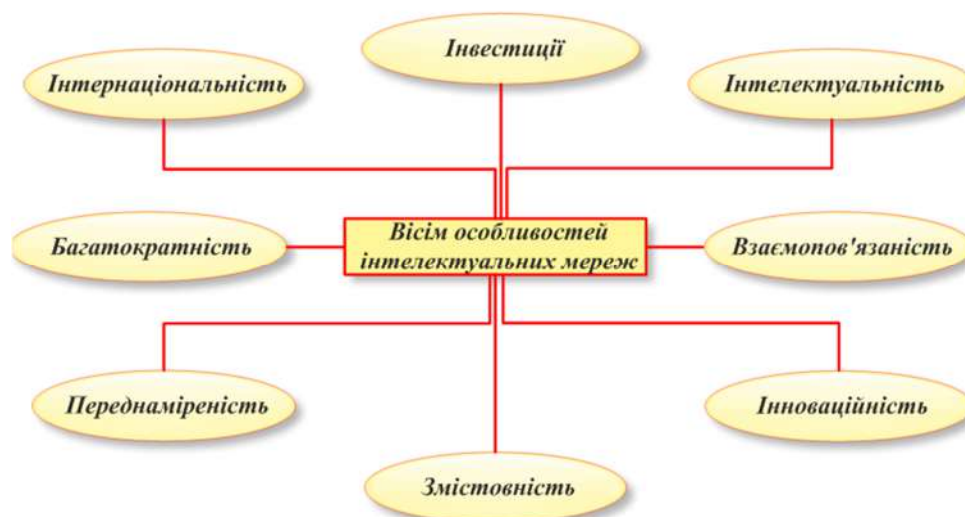


Рис. 1. Вісім особливостей інтелектуальних мереж

У 2015 році в Україні встановлена потужність об'єктів відновлюваної енергетики, яким надано «зелений» тариф, становила 1469 МВт [5]. Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом, представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Встановлена потужність та обсяг виробленої електроенергії об'єктами відновлюваної енергетики, що працюють за «зеленим» тарифом

№ п/п	Напрямок відновлюваної енергетики	Загальна кількість об'єктів відновлюваної енергетики	Встановлена потужність (станом на 01.04.15)		Вироблено електроенергії у 2015 році	
			МВт	%	млн кВт·год	%
1	Вітроенергетика	21	513,9	35,0	314,7	64,5
2	Сонячна енергетика	102	824,7	56,1	75,1	15,4
3	Мала гідроенергетика	105	81,4	5,6	67,0	13,7
4	Біомаса	5	35,2	2,4	20,1	4,1
5	Біогаз	9	13,9	0,9	11,4	2,3
	Всього	242	1 469,1	100	488,3	100

З наведених у табл. 1 даних бачимо, що основна частина встановлених потужностей (близько 830 МВт) припадає на сонячну енергетику, що становить понад 56 %. За відносним обсягом виробленої електроенергії (75,1 млн кВт·год) сонячна електроенергетика становить близько 15 %. В той же час вітроенергетика (понад 513 МВт встановленої потужності або 35 %) забезпечує виробництво близько 315 млн кВт·год, або 65 %.

Наведені дані свідчать про недостатньо ефективне використання встановлених систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) і, відповідно, необхідність глибокого розгляду шляхів та засобів забезпечення ефективності автономних систем електроживлення на основі ФЕП.

Метою цієї роботи є розгляд та класифікація технічних засобів забезпечення ефективного функціонування автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). Окрема увага в роботі приділена типам ФЕП та елементам накопичення електроенергії – акумуляторним батареям (АБ).

#### Системи електроживлення на основі ФЕП.

Розглянемо основні варіанти систем електроживлення на основі ФЕП для постійного та змінного струмів. Автономна система для споживачів постійного струму представлена на рис. 2.

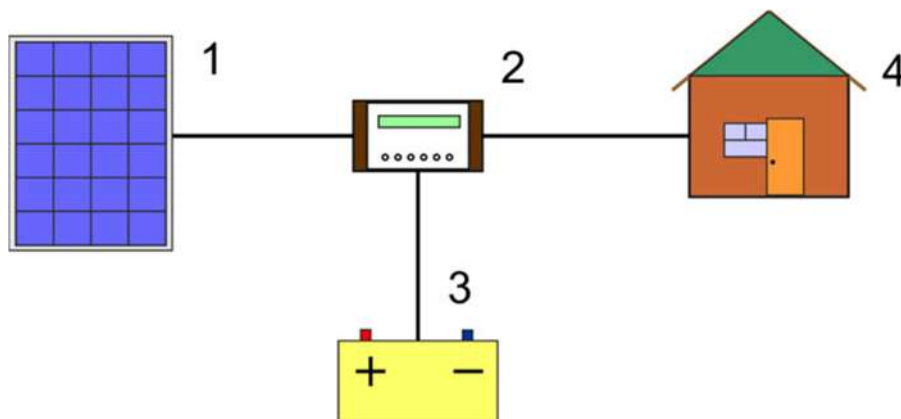


Рис. 2. Автономна система для споживачів постійного струму:  
1 – ФЕП; 2 – контролер заряду; 3 – акумулятор; 4 – споживач

Подібні станції є основним джерелом енергії та застосовуються для електропостачання систем освітлення або спеціальної побутової техніки, яка працює в режимі постійного струму. Потужність таких систем здебільшого не перевищує 1 кВт. Навантаження необхідно підключати до елементів накопичення електроенергії через контролер заряду-розряду. Фотомодулі перетворюють сонячну енергію в електричну, акумулятор накопичує енергію, контролер заряду захищає від зовнішніх впливів.

Автономна система для споживачів змінного струму представлена на рис. 3. Сонячне випромінювання непостійне в часі, тому обсяг енергії, виробленої ФЕП, не завжди відповідає обсягу споживання енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії та використання її у випадках, коли споживання перевищує вироблення, використовують акумуляторні батареї (АБ). Підключення ФЕП безпосередньо до елементів накопичення електроенергії для їх заряду неприпустимо, оскільки це може призвести до їх пошкодження, які потягнуть за собою вихід з ладу. Саме для захисту елементів накопичення електроенергії від перезарядження та для підтримки оптимальної роботи використовують контролери заряду.

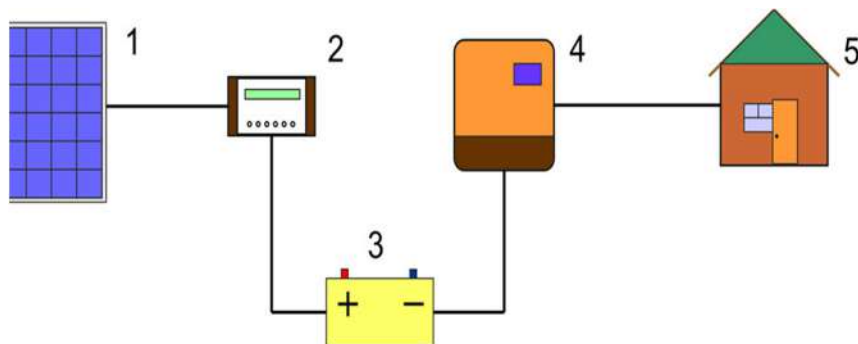


Рис. 3. Автономна система для споживачів змінного струму:  
1 – ФЕП; 2 – контролер заряду; 3 – акумулятор; 4 – інвертор; 5 – споживач

Оскільки більшість споживачів електроенергії використовують змінний струм, а ФЕП та елементи накопичення електроенергії виробляють постійний струм, виникає необхідність у перетворенні струму зі змінного в постійний. Цю функцію виконує інвертор. У разі необхідності підключення навантаження постійного струму – його можна безпосередньо підключити до вихідних клем контролера заряду [6]. Таким чином, щоб система передавала енергію до мережі, необхідно встановити додаткові блоки, зокрема: інвертор, що перетворить постійний струм у змінний; акумуляторну батарею, роль якої накопичувати енергію й згладжувати перепади напруги через зміну освітленості; контролер заряду акумулятора, який не дозволяє акумулятору перезарядитися або розрядитися завчасно. Усе це в комплексі називається автономною системою елек-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

троживлення на основі ФЕП. Разом з тим у системі, яка працює на постачання енергії в загальну мережу, необхідний тільки мережевий інвертор [6].

Автономна система незалежна від зовнішньої мережі електропостачання (рис. 4). За винятком деяких спеціальних застосувань, в яких енергія від сонячних батарей безпосередньо використовується споживачами, всі автономні системи повинні мати у своєму складі АБ. Енергія від акумуляторів використовується під час недостатньої інтенсивності сонячного випромінювання. Система, поєднана із зовнішньою мережею (рис. 5). У ній також використовуються АБ, але така система одночасно підключена до зовнішньої мережі. Тому надлишок енергії, який генерується сонячними батареями, може направлятися в навантаження або мережу. Для цього використовуються перетворювачі напруги постійного струму в змінний – інвертори, які можуть працювати паралельно з мережею. Якщо споживання перевищує генерацію електроенергії сонячними батареями, то недостатня енергія береться від мережі.



Рис. 4. Автономна система незалежна від зовнішньої мережі:  
сонячна батарея - СБ; контролер - К; акумуляторна батарея - АБ; інвертор - І;  
розподільний пристрій - РП; навантаження – Н

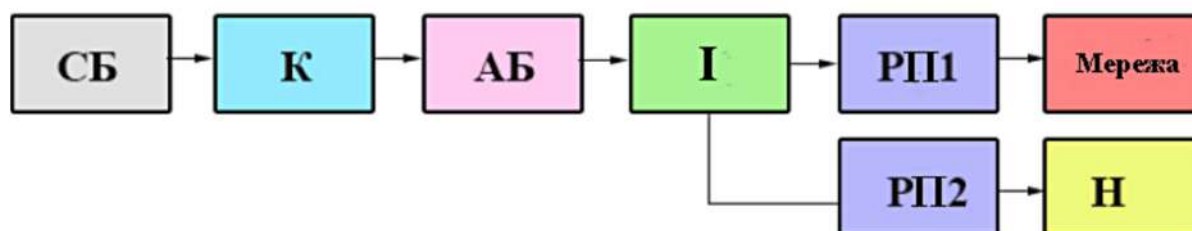


Рис. 5. Автономна система поєднана із зовнішньою мережею

Система з безакумуляторним з'єднанням з мережею є найпростішою з усіх систем (рис. 6). Вона складається із сонячних батарей, підключених до мережі. Вся вироблена електроенергія подається в мережу. У такій системі немає АБ, тому вона не може використовуватися як резервна система. Коли мережа відключається, то і вироблення електроенергії сонячними батареями також припиняється. Це може бути обмеженням такої системи, але основна її перевага – висока ефективність, низька ціна, а також висока надійність [6].

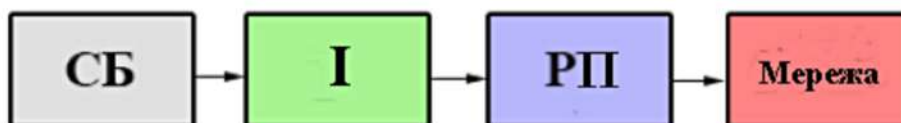


Рис. 6. Автономна система з безакумуляторним з'єднанням з мережею

**Принципи роботи, переваги, недоліки та класифікація ФЕП.** За принципом роботи ФЕП являють собою фотоелектричний генератор постійного струму, який використовує ефект перетворення променевої енергії в електричну. Точніше, використана властивість напівпровідників на основі кремнію. Кванти світла, потрапляючи на пластину напівпровідника, вибивають електрон із зовнішньої орбіти атома цього хімічного елемента, що створює достатню кількість вільних електронів для виникнення електричного струму. Для того, щоб напруги й потужності такого джерела було достатньо для застосування, одного або двох кремнієвих елементів недостатньо. Тому їх збирають у цілі панелі, де з'єднують паралельно або послідовно (рис. 7) [7]. Площа таких панелей може становити від декількох квадратних сантиметрів до декількох квадратних метрів. Збільшуючи кількість панелей, можна добитися більшої генерованої потужності сонячною

батареею. Однак продуктивність сонячної батареї залежить не тільки від площі, але також від інтенсивності сонячного світла й кута падіння променів. Отже, продуктивність сонячної батареї залежить від місцевості та географічної широти, від погоди й пори року, від часу доби. Так, оптимальний кут для отримання максимальної енергії в центральних районах нашої країни становить від 30 до 45 градусів.

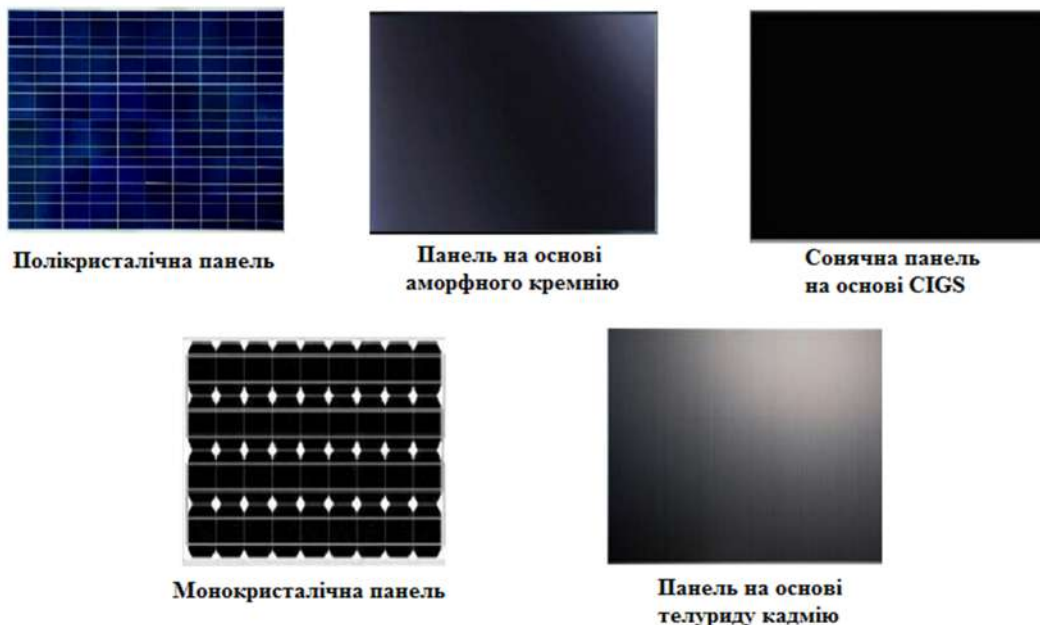


Рис. 7. Види сонячних панелей

Переваги використання ФЕП такі: джерелом енергії є доступне та невичерпне сонячне випромінювання; екологічно безпечні для освітлення; економічні у використанні; висока надійність у роботі (до 50 років); потребують мінімального технічного обслуговування. Поряд із перевагами ФЕП мають недоліки: ефективне функціонування залежить від пори року, погоди та часу доби; потребують акумулювання електроенергії; необхідно періодично очищати поверхні від пилу та атмосферних опадів; висока вартість панелей. Переваги та недоліки основних типів ФЕП представлена в табл. 2.

Таблиця 2

Переваги та недоліки основних типів ФЕП

Тип ФЕП	Переваги	Недоліки	Сфера використання
ФЕП на основі монокристалічного кремнію	високий ККД (17–19 %); висока надійність (25–50 років роботи); стабільність параметрів протягом тривалого часу (падіння потужності до 80 % від максимальної за 25 років експлуатації)	більш висока вартість (2,5–3,3 \$/Вт); менша технологічність; вища чутливість до рівня та кута джерела світла; висока вартість утримання та енергозатратність технології виготовлення	професійні сонячні енергосистеми; сонячні електростанції; системи живлення космічних апаратів; високоякісні приватні сонячні системи
ФЕП на основі полікристалічного кремнію	нижча вартість (2,1–2,8 \$/Вт); висока технологічність; стабільність параметрів (падіння потужності до 80 % від максимальної за 25 років експлуатації)	нижчий ККД (15–17 %); менша стабільність параметрів	широко поширені якісні сонячні енергосистеми; малі електростанції; покриття дахів будинків; фотоелектричні побутові пристрої
Тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію	висока технологічність; низька вартість (1,5–2,4\$/Вт)	низький ККД (7–11 %); нестабільність параметрів; низька надійність (строк служби 5–8 років)	поширені більш дешеві приватні сонячні енергосистеми; системи світлодіодного побутового освітлення

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Сонячні панелі з полікристалічних фотоелектричних елементів найбільш поширені у зв'язку з оптимальним співвідношенням ціни і ККД серед всіх різновидів панелей. Сонячні панелі з монокристалічних фотоелектричних елементів ефективні, але й дорогі. Зазвичай монокристалічні елементи мають форму багатокутників, якими важко заповнити всю площу панелі без залишку. В результаті питома потужність сонячної батареї трохи нижча, ніж питома потужність окремого її елемента. Сонячні панелі з аморфного кремнію мають один з найбільш низьких ККД. Панелі з телуриду кадмію (CdTe) виготовляються на основі плівкової технології. Напівпровідникову плівку наносять тонким шаром у кілька сотень мікрометрів, ККД близько 11 %. Сонячні панелі на основі CIGS (напівпровідник, який складається з міді, індію, галію та селену). Цей тип сонячних батарей теж виконаний за плівковою технологією, але в порівнянні з панелями з телуриду кадмію має більш високу ефективність, його ККД сягає 15 % [9].

**Елементи накопичення електроенергії.** Розглянемо детально види, типи, параметри та характеристики елементів накопичення електроенергії. Їх різноманіття призводить до необхідності аналізу їх властивостей для вибору найбільш раціональних варіантів [10]. У табл. 3 наведені основні характеристики накопичувачів енергії різного типу. Основні види АБ розглянемо нижче. Їх параметри наведені в табл. 4.

Таблиця 3

*Характеристики накопичувачів енергії*

Накопичувач		Питома енергія Дж/кг	Час виводу енергії, с
Зі статичною активною зоною	Хімічний	$10^2-10^3$	$1-10^5$
	Індуктивний	1-10	$10^{-3}-10$
	Ємнісний	0,1-0,5	$10^{-4}-10^{-2}$
З динамічною активною зоною	Механічний	$10-10^3$	$1-10^3$
	Електромеханічний	1-10	$10^{-2}-10$
	Електродинамічний	0,05-1	$10^{-3}-10^{-2}$

Таблиця 4

*Основні параметри акумуляторів*

Параметри	NiCd	NiMH	Lead Acid	Li-ion	Li-ion polymer	Reusable Alkaline
Щільність енергії (Вт·год/кг)	45-80	60-120	30-50	110-160	100-130	80
Внутрішній опір, мОм	100 до 200 <sup>1</sup> 6V	200 до 300 <sup>1</sup> 6V	<100 <sup>1</sup> 12V	150 до 250 <sup>1</sup> 7.2V	200 до 300 <sup>1</sup> 7.2V	200 до 2000 <sup>1</sup> 6V
Час життя (до 80 % від номінальної ємності)	1500 <sup>2</sup>	300-500 <sup>2,3</sup>	200-300 <sup>2</sup>	500-1000 <sup>3</sup>	300-500	50 <sup>3</sup> (до 50%)
Час швидкого заряду	1 год	2-4 год	8-16 год	2-4 год	2-4 год	2-3 год
Чутливість до перезаряду	середня	висока	низька	дуже висока	висока	середня
Саморозряд / Місяць (Кімнатна темп.)	20 % <sup>4</sup>	30 % <sup>4</sup>	5 %	10 % <sup>5</sup>	~10 % <sup>5</sup>	0,3 %
Напруга комірки (ном.)	1,25 В <sup>6</sup>	1,25 В <sup>6</sup>	2 В	3,6 В	3,6 В	1,5 В
Навантажувальний струм: піковий, оптимальний	20 С 1 С	5 С 0,5 С або нижче	5 С <sup>7</sup> 0,5 С	>2 С 1 С або нижче	>2С 1 С або нижче	0,5 С 0,2 С або нижче
Робоча температура (при розряді)	від -40 до +60 °С	від -20 до 60 °С	від -20 до 60 °С	від -20 до 60 °С	від 0 до 60 °С	від 0 до 65 °С
Вимоги до періодичності обслуговування	30-60 днів	60-90 днів	3-6 місяців <sup>8</sup>	Не потребує	Не потребує	Не потребує
Орієнтовна ціна (US\$)	50 \$ (7,2 В)	60 \$ (7,2 В)	25 \$ (6,0 В)	100 \$ (7,2 В)	100 \$ (7,2 В)	5 \$ (9,0 В)

Нікель-кадмієві (NiCd) мають низьку щільність енергії. Використовується там, де важливі довговічність, здатність забезпечити високий струм навантаження та низька ціна. Нікель – металогідридні (NiMH) у порівнянні з NiCd мають більш високу щільність енергії, але менший час життя. NiMH не містять токсичних матеріалів. Застосовуються в мобільних телефонах і портативних комп'ютерах. Літій-іонні (Li-Ion) використовуються там, де потрібна висока щільність енергії та мала вага. При експлуатації необхідно дотримуватися режими заряду і розряду, зазначених виробником з міркувань безпеки. Застосовуються в комп'ютерах і стільникових телефонах. Літій-полімерні (Li-polymer) дуже компактні, в основному, використовуються в мобільних телефонах. Герметичні свинцево-кислотні (SLA) застосовуються там, де потрібна велика потужність, а вага не має значення. Переваги та недоліки АБ представлені в таблиці 5 [11].

Таблиця 5

*Переваги та недоліки основних видів акумуляторів*

<b>Вид</b>	<b>Переваги</b>	<b>Недоліки</b>
Нікель-кадмієві (NiCd)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Великий ресурс (1000-1500 ц).</li> <li>2. Великий струм навантаження.</li> <li>3. Довгий термін служби.</li> <li>4. Простота зберігання і транспортування.</li> <li>5. Підходять для роботи при низьких температурах.</li> <li>6. Не критичність до різних режимів роботи.</li> <li>7. Низька вартість</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Досить низька, в порівнянні з новими типами акумуляторів, щільність енергії.</li> <li>2. Ефект пам'яті. Необхідність періодичних тренувань для його профілактики.</li> <li>3. Містять токсичні матеріали.</li> <li>4. Досить великий струм саморозряду. NiCd акумулятори вимагають дозарядки після зберігання</li> </ol>
Нікель – металогідридні (NiMH)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ємність, на 30–40 % більша, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів.</li> <li>2. Ефект пам'яті в NiMH акумуляторах виражений набагато слабкіше, ніж у NiCd</li> <li>3. Простота зберігання і транспортування.</li> <li>4. Екологічна безпека</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Відносно невеликий ресурс.</li> <li>2. Оптимальним навантажувальним струмом є величина 0.2С-0.5с.</li> <li>3. Більш складний алгоритм заряду</li> <li>4. Великий саморозряд.</li> <li>5. Чутливість до зміни температури.</li> <li>6. Необхідність регулярного обслуговування. Для профілактики ефекту пам'яті потрібні тренування</li> </ol>
Літій-іонні	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока щільність енергії.</li> <li>2. Струм саморозряду досить низький.</li> <li>3. Не потрібно періодичного обслуговування</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Спеціальні схеми захисту, обмеження струму і напруги.</li> <li>2. Старіння незалежно від режиму.</li> <li>3. Особливі умови транспортування.</li> <li>4. Висока вартість виробництва</li> </ol>
Полімерні	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Тонкі елементи (до 1 мм).</li> <li>2. Пластичність.</li> <li>3. Мала вага.</li> <li>4. Безпека.</li> <li>5. Стійкі до перезаряду</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Більш низька щільність енергії та ресурс у порівнянні з літій-іонними.</li> <li>2. Дороге виробництво</li> </ol>
Свинцево-кислотні (SLA)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Дешеві та прості у виробництві.</li> <li>2. Відпрацьована технологія.</li> <li>3. Саморозряд – найменший серед всіх типів акумуляторів</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Неможливість зберігати в розрядженому стані.</li> <li>2. Низька щільність енергії.</li> <li>3. Більш складний алгоритм заряду.</li> <li>4. Містять шкідливі матеріали</li> </ol>

Внутрішній опір АБ залежить від ємності середовища, схеми захисних кіл та кількості елементів. Схеми захисту літій-іонних і літій-полімерних АБ додають близько 100 МОм. Значення в табл. 4 враховує, що акумулятор регулярно обслуговується. При відсутності періодичного обслуговування, час роботи акумулятора суттєво зменшується. Час життя залежить від глибини розряду. Неповний розряд забезпечить більший час життя, ніж глибокий розряд. Струм саморозряду найбільший безпосередньо після заряду. Зменшення ємності NiCd акумулятора складає 10 % за перші 24 години після заряду, а потім падає до величини 10 % кожні наступні 30 днів. Типове споживання внут-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

рішних схем захисту 3 % від всієї енергії в місяць. Напруга холостого ходу одного елемента становить 1,25 В, але 1,2 В є загальноприйнятим значенням. Це не є відмінність між середовищами, а спрощення для зручності розрахунків. Здатність елементів накопичення електроенергії витримувати короткі імпульси великої амплітуди. Обслуговування може проводитися у вигляді «вирівнюючого» або «додаткового» заряду [12].

**Висновки та пропозиції.** Проаналізувавши наведені вище фактори, можна дійти висновку, що для забезпечення відповідної якості та надійності систем електроживлення на основі альтернативних джерел енергії в Україні необхідно впроваджувати нові технології та стандарти, нормативно-правові акти. Створення нових технологій перетворення та зберігання енергії дозволить вирішити головні питання з підвищення якості функціонування електроенергетичної системи, дасть можливість застосовувати «розумні» тарифи для споживачів, зменшить втрати при розподілі електроенергії, забезпечить відповідну якість та надійність електроенергії, підвищить безпеку, спонукатиме до застосування нових методів управління споживанням електроенергії, забезпечить новий рівень якості послуг для населення та покращить екологічну ситуацію в країні.

При виборі АБ для автономних систем електроживлення на основі ФЕП, варто враховувати, що нікель-кадмієві мають довгий строк служби, а також вони дешевші, ніж інші, але містять досить токсичні матеріали та мають низьку щільність енергії. Нікель-металогідридні мають високу ємність та екологічно безпечні, але в той же час мають великий саморазряд, високу чутливість до зміни температур та є необхідність в регулярному обслуговуванні. Літій-іонні АБ мають високу щільність енергії, не потрібно проводити їх періодичне обслуговування, але це досить дороге виробництво, а також досить висока ймовірність старіння незалежно від умов експлуатації. Свинцево-кислотні АБ більш дешеві та прості у використанні, не вимагають особливих умов зберігання та експлуатації, а також вони дуже поширені на ринку, тому використання такого виду може бути доцільним в складі автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів.

Дослідження виконуються в межах науково-дослідної роботи № 0116U006960.

#### Список використаних джерел

1. *Technology Development Smart Grid* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>.
2. *Петергеря Ю. С.* Інтелектуальні системи забезпечення енергозбереження житлових будинків : навчальний посібник / Ю. С. Петергеря, В. Я. Жуйков, Т. О. Терещенко. – К. : Медіа-ПРЕС, 2008. – 256 с.
3. *Виджей К. Суд.* Применение статических преобразователей в энергетических системах / Виджей К. Суд ; пер. с англ. – М. : Научно-инженерное информ. агентство НП НИИА, 2009. – Ч. 2. – С. 39–44.
4. *Інтелектуальні* електричні мережі електроенергетичних систем та їхнє технологічне забезпечення / Б. С. Стогній, О. В. Кириленко, А. Г. Баталов, С. П. Динесюк // Техн. електродинаміка. – 2010. – № 6. – С. 44–50.
5. *Інформація* щодо виробництва альтернативних видів палива та енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії [Електронний ресурс] / Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. – Режим доступу : <http://sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stand>.
6. *Григораш О. В.* Об эффективности и целесообразности использования возобновляемых источников электроэнергии / О. В. Григораш, В. В. Тропин, А. С. Оськина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 09 (083).
7. *Eckart von Malsen.* Opportunities for large-scale projects // SUN and Wind Energy. – 2011. – Vol. 5. – С. 254–255.
8. *Solar energy* / Wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://en.wikipedia.org/wiki/Solarenergy>.

9. Брич В. Я. Проблемы застосування сонячної енергії в сфері житлово-комунального господарства / В. Я. Брич, Б. Р. Гевко // Інноваційна економіка : науково-виробничий журнал. – 2016. – № 61. – С. 152–157.

10. Троцкий Е. М. Возможность применения накопителей - компенсаторов в регулируемом электроприводе / Е. М. Троцкий // Проблемы создания новых машин и технологий : научные труды Кременчугского государственного политехнического института. – 1998. – Вып. 1/1998(3).

11. *Различные типы аккумуляторов, параметры, дефекты, особенности эксплуатации* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://n-t.ru/ii/ba/ch2.pdf>.

12. Фесенко А. Огляд та обґрунтування вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів / А. Фесенко, Р. Єршов, С. Степенко // Технічні науки та технології. – 2017. – № 1 (7). – С. 177–186.

### References

1. *Technology Development Smart Grid* Retrieved from <http://energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid>.

2. Peterherya, Yu.S., Zhuikov, V.Ya., Tereshchenko, T.O. (2008). *Intelektualni systemy zabezpechennia enerhozberzhennia zhytlovykh budynkiv [Intelligent Systems OJEC chenie energy saving houses]*. Kyiv: Media-PRES (in Ukrainian).

3. Vijay K. Sud (2009). *Primenenie staticheskikh preobrazovatelei v enerheticheskikh sistemakh [Application of static converters in power systems]* (Trans. with the English). Moscow: Scientific and engineering information. Agency NP NIIA, part 2, pp. 39–44 (in Russian).

4. Stogniy, B.S., Kirilenko, O.V., Batalov, A.G., Dynesyuk, S.P. (2010). *Intelektualni elektrychni merezhi elektroenerhetychnykh system ta yikhnie tekhnolohichne zabezpechennia [Intelligent electrical network power systems and their technological support]*. *Tekhn. Elektrodynamika – Technical science. Electrodynamics*, no. 6, pp. 44–50 (in Ukrainian).

5. *Informatsiia shchodo vyrobnytstva alternatyvnykh vydiv palyva ta enerhonosiiv z vidnovlyuvanykh dzherel enerhii [Information on the production of alternative fuels and energy from on-novlyuvanyh energy]*. *State Agency for Energy Efficiency and energy-TION-Ukraine*. Retrieved from <http://sae.gov.ua/uk/activity/vidnovlyuvana-enerhetyka/suchasny-stand>.

6. Grigorash, O.V., Tropin, V.V., Oskina, A.S. (2012). *Ob effektivnosti i tselesoobraznosti ispolzovaniia vozobnovliaemykh istochnikov elektroenergii [On the effectiveness and appropriateness of using renewable energy sources]*. *Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Polytechnical network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*, №09 (083) (in Russian).

7. Eckart von Malsen (2011). Opportunities for large-scale projects. *SUN end Wind Energy*, vol. 5, pp. 254–255.

8. Solar energy. *Wikipedia*. Retrieved from <http://en.wikipedia.org/wiki/Solarenergy>.

9. Brych, V.J., Hevko, B.R. (2016). *Problemy zastosuvannia soniachnoi enerhii v sferi zhytlovo-komunalnoho hospodarstva [Problems of application in the field of solar battery Housing]*. *Innovatsiina ekonomika – Innovative Economy*, no. 61, pp. 152–157 (in Ukrainian).

10. Trotsky, E.M. (1998). *Vozmozhnost primeneniia nakopitelei – kompensatorov v reguliruemom elektroprivoде [The possibility of using accumulators – compensators in a regulated electric drive]*. *Problemy sozdaniia novykh mashin i tekhnologii: nauchnye trudy Kremenchugskogo gosudarstvennogo politekhnicheskogo instituta – Problems of creating new machines and technologies: Scientific works of the Kremenchug State Polytechnic Institute*, issue 1/1998 (3).

11. *Razlichnye tipy akkumulyatorov parametry defekty osobennosti ekspluatatsii [Various types of accumulators, parameters, defects, operational features]*. Retrieved from <http://n-t.ru/ii/ba/ch2.pdf>.

12. Fesenko, A., Yershov, R., Stepenko, S. (2017). *Ohliad ta obgruntuвання вибору акумуляторних батарей для автономної системи електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів [Overview and foundation of storage batteries selection for autonomous power supply system based on photovoltaic converters]*. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical Sciences and Technologies*, no. 1 (7), pp. 177–186 (in Ukrainian).

*Kateryna Reva, Serhii Stepenko*

## INVESTIGATION OF ELEMENTS' CHARACTERISTICS FOR AUTONOMOUS POWER SUPPLY SYSTEMS BASED ON PHOTOVOLTAIC CELLS

**Background research.** The modern trends in the global power stimulate significant growth of interest in alternative energy sources.

**Formulation of the problem.** Nowadays the Intelligent Power Systems (so-called Smart Grids) become widespread. The wide adoption and development of these systems is possible not only due to the new technical solutions, but also due to the organizational measures, including the introduction of «green tariff» for electricity generated from renewable sources.

**Analysis of recent research and publications.** The obtained data indicate a lack of effective utilization of installed power from photovoltaic cells and, therefore, the necessity of deep consideration of ways and means to ensure the effectiveness of autonomous power systems based on solar cells.

**Bold unexplored aspects of the problem.** In the available publications single universal methods of choice the elements for these systems are not offered.

**Setting objectives.** Perform a review and classification of means of ensuring the effective functioning of autonomous power systems based on photovoltaic cells.

**Statement of the material.** The description of the main types of photovoltaic cells and their main parameters and characteristics are considered. Also, the key components of the system Smart Grid, current trends in global energy and the volume of electricity of renewable energy in Ukraine is the formation of the state is to introduce "advanced" technologies are considered. The basic elements of the block diagram photovoltaic systems and their specific functions are described. Advantages and disadvantages of the main types of batteries (electric storage elements) on their basic parameters, classifications, cost, lifetime, charge and overcharge, etc. are studied.

**Conclusions.** To ensure the appropriate quality and reliability of alternative energy sources in Ukraine we need to introduce new technologies and standards regulations. As for selections of power is more advisable to use lead-acid ones. They are cheaper and easy to use, lightweight in storage and use, and they are very common in the market.

**Keywords:** Smart Grid, solar energy, photovoltaic cells (PV), autonomous power supply system, electrical energy storage elements.

*Екатерина Рева, Сергей Степенко*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ НА ОСНОВЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Современные тенденции в мировой энергетике стимулируют существенный рост интереса к альтернативным источникам энергии. Приведенные данные свидетельствуют о недостаточно эффективном использовании установленных систем электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей и, соответственно, необходимости глубокого рассмотрения путей и средств обеспечения эффективности автономных систем электропитания на их основе. В данной работе рассмотрено и классифицировано технические средства обеспечения эффективного функционирования автономных систем электропитания на основе фотоэлектрических преобразователей. Особое внимание в работе уделено типам фотоэлектрических преобразователей и элементам накопления электроэнергии – аккумуляторным батареям.

**Ключевые слова:** интеллектуальные электросети; солнечная электроэнергетика; фотоэлектрические преобразователи (ФЭП); автономная система электропитания; элементы накопления электроэнергии.

**Рева Катерина Олександрівна** – магістрант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Рева Екатерина Александровна** – магістрант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Reva Ekaterina** – Master student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** catherine.studvt@gmail.com

**Степенко Сергій Анатольович** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Степенко Сергей Анатольевич** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Serhii Stepenko** – PhD in Electrical Engineering, senior researcher, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** serhii.stepenko.ua@iee.org

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7702-6776>

**ResearcherID:** F-1018-2014

**Scopus Author ID:** 55570068000

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 641.887:613.292

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-172-178

*Михайло Кравченко, Ірина Кублінська, Юлія Лесишина, Ольга Рябошапка*

### **Р-ВІТАМІННА АКТИВНІСТЬ ГРИБНОГО ПОРОШКУ ШИЇТАКЕ**

**Актуальність теми дослідження.** Однією з пріоритетних проблем, які стоять перед сучасними закладами ресторанного господарства є створення принципово нових технологій, широкого і комплексного застосування харчових продуктів високої якості, які мають оздоровчий вплив на організм людини. В такому контексті перспективним є використання рослинних інгредієнтів багатих на флавоноїди (вітамін Р), (які мають потужний антиоксидантний вплив на організм людини та тонізуючий ефект на кровоносну систему) для створення оздоровчих харчових продуктів.

**Постановка проблеми.** Для використання грибів шиїтаке у технології оздоровчих харчових продуктів необхідні дослідження, спрямовані на виявлення Р-вітамінної активності вітчизняного порошку грибів шиїтаке.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні кілька десятиліть проведено понад сотні різних досліджень в Японії, Китаї, США і Сполученому Королівстві Великої Британії щодо харчових та лікувальних властивостей вищих грибів, в тому числі й шиїтаке.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на велику кількість досліджень хімічного складу грибів шиїтаке, а також їх порошоків, відсутні дані щодо якісного і кількісного вмісту флавонових речовин в порошках грибів шиїтаке, які вирощуються в Україні.

**Постановка завдання.** В даній роботі описано результати якісного виявлення флавонових речовин у порошку грибів шиїтаке вирощених в Україні.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено екстрагування грибного порошку з шиїтаке (*Lentinus edodes*) з подальшим дослідженням його Р-вітамінної активності. Встановлено, що в складі етанольних екстрактів грибів шиїтаке, культивованих в Україні, містяться фенольні сполуки. Вихід екстрактивних речовин з грибів при застосуванні як екстрагенту 70%-ого водного розчину етанолу в 2 рази вищий, ніж при застосуванні 96%-ого етанолу. 70%-ий етанольний екстракт містить фенольні сполуки подібні за структурою до флавоноїду кверцетину.

**Висновки.** Грибний порошок шиїтаке, вирощений в Україні містить флавонові речовини, подібні до кверцетину, тому володіє Р-вітамінною активністю, що робить його перспективним інгредієнтом для створення нових харчових продуктів оздоровчого призначення.

**Ключові слова:** порошок шиїтаке; флавоноїди; вітамін Р; кверцетин; оздоровчі харчові продукти.

**Постановка проблеми.** Однією з пріоритетних проблем, які стоять перед сучасними закладами ресторанного господарства, є створення принципово нових технологій, широкого і комплексного застосування харчових продуктів високої якості, які мають оздоровчий вплив на організм людини, забезпечують профілактику аліментарно-залежних станів і захворювань, сприяють усуненню дефіциту вітамінів, мікро- і макроелементів, інших есенціальних речовин. Ця проблема виникла в результаті суттєвої гіподинамії населення України, високого рівня стресового навантаження на організм людини і відповідного зменшення загальної кількості їжі, яку споживає людина, обмеження різноманіття харчових продуктів [1]. Цим вимогам відповідають оздоровчі продукти – харчові продукти функціонального призначення і функціональні інгредієнти, спеціальні продукти дієтичного харчування, харчові продукти для спеціальних медичних цілей та інші групи харчових продуктів. Особлива увага приділяється функціональним інгредієнтам, які здійснюють біологічно значущий позитивний вплив на організм людини, що допомагає адаптуватись до негативної дії зовнішнього середовища, запобігти виникненню захворювань та попередити завчасне старіння [2]. Функціональні інгредієнти розглядаються не тільки як джерела пластичних речовин та енергії, але і як складний немедикаментозний комплекс, що забезпечує лікувально-профілактичний ефект. У такому контексті перспективним є використання дієтичних добавок з вищих грибів, а саме грибів шиїтаке (*Lentinula edodes*).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За останні кілька десятиліть проведено понад сотні різних досліджень в Японії, Китаї, США, Великобританії щодо харчових та лікувальних властивостей вищих грибів, у тому числі шиїтаке. Дані дослідження підтверджують, що гриби шиїтаке мають високі смакові якості, лікувальний та профілакти-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

чний ефект на організм людини. Українськими науковцями вивчено мінеральний склад грибів шиїтаке, виявлено наявність 18 мінеральних речовин, визначено домінуючі макро- та мікроелементи. [3]

Лікувальну та харчову властивість грибів досліджували такі вчені, як С. К. Cheung, Solomon P. Wasser, М. І. Даниляк, П. А. Сичов, І. О. Дудка, Н. О. Бісько, Б. П. Макаренко, М. П. Рудик, Н. К. Черно, J. Reguła, M. Siwulski, Н. І. М'ячикова, З. В. Корж, А. І. Шелюк та інші [4].

Було доведено, що гриби шиїтаке містять цілий комплекс есенціальних речовин, таких як бета-глюкани, органічні кислоти, вітаміни, зокрема найбільше вітамінів групи В, мінеральні речовини, флавоноїди та воду [5]. Бета-глюкани, ганодермові кислоти та флавоноїди грибів сприяють підвищенню імунітету, зміцненню серця, кровоносних судин, передміхурової залози, мають протипухлинний ефект та гепатопротекторну дію [6].

Біологічна активність флавоноїдів зумовлена здатністю зв'язувати вільні радикали та активні форми кисню, а також іони металів в організмі з утворенням комплексних сполук. Вони також є ефективними у профілактиці хронічних процесів, які спричинені негативними факторами зовнішнього середовища, що призводять до утворення вільних радикалів, таких як мінеральний пил, ксенобіотики, радіація. Всі ці речовини знаходяться у природних співвідношеннях, що значною мірою визначає високу біологічну активність екстракту [7].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Відсутність даних щодо якісного і кількісного вмісту флавоноїдів у порошках грибів шиїтаке, які вирощуються в Україні, стримує розвиток досліджень, спрямованих на розробку технологій збагачення харчових продуктів флавоноїдами та вивченню особливостей їх фізіологічної дії. У зв'язку з цим метою дослідження було виявлення вмісту флавоноїдів у порошку грибів шиїтаке, що культивуються в Україні.

**Виклад основного матеріалу.** Мета роботи: дослідження наявності фенольних речовин, зокрема флавоноїдів у порошку грибів шиїтаке.

*Об'єкт дослідження* – грибний порошок шиїтаке ТУ У 10.8-2072517398-001:2013 «Добавки дієтичні із вищих лікарських грибів».

*Предмет дослідження* – біологічно активні речовини грибів шиїтаке – флавоноїди.

*Матеріали і методи* – гравіметричний метод визначення вмісту вологи та екстрактивних речовин у порошку грибів *Lentinus edodes*, якісне визначення різних груп фенольних сполук в екстрактах грибів проводили за допомогою специфічних кольорових реакцій згідно з [8] та методом УФ-видимої спектрофотометрії. Спектрофотометричні дослідження проводили на спектрофотометрі Specord 50 UV-VIS (Analytikjena, Німеччина), обладнаного термостатом, у діапазоні довжини хвиль 220-800 нм у кварцевій кюветі з товщиною шару 1 см за кімнатної температури.

Масову частку флавоноїдів (X) (у перерахунку на кверцетин з урахуванням молярного коефіцієнту поглинання комплексу кверцетину з іонами  $Al^{3+}$ ) розраховували за формулою:

$$X = \frac{A \cdot 40000}{\varepsilon \cdot W_{c.3}} \cdot 100, \%$$

де  $A$  – оптична густина досліджуваного розчину;  $\varepsilon$  – молярний коефіцієнт поглинання продукту окислення кверцетину реактивом Фоліна-Чикольте, л/моль·см;  $W_{c.3}$  – масова частка сухого залишку.

Для статистичного оброблення експериментальних даних використовували програмне забезпечення MS Excel 2007.

Для визначення молярного коефіцієнту поглинання продукту взаємодії кверцетину з розчином  $AlCl_3$  була встановлена залежність оптичної густини розчинів кверцетину з 2%-вим розчином хлориду алюмінію від концентрації кверцетину при 430 нм (рис. 1).

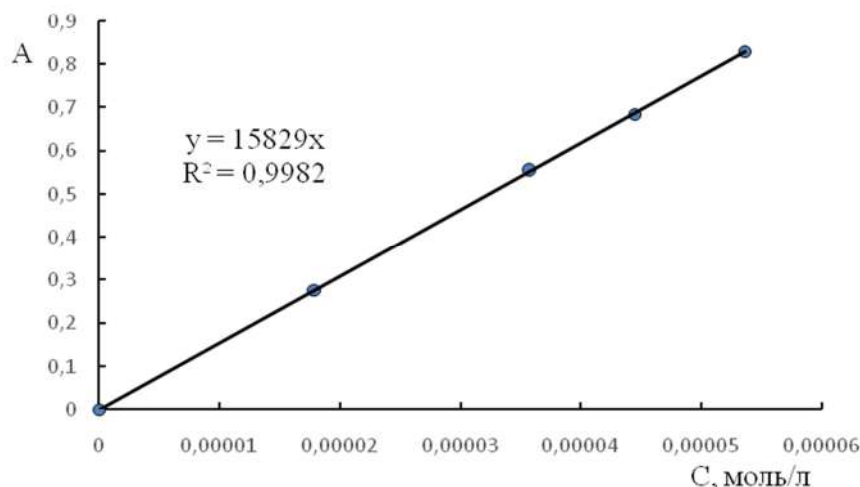


Рис. 1. Залежність оптичної густини розчинів кверцетину з 2%-вим розчином  $AlCl_3$  від концентрації кверцетину.  $\lambda = 430$  нм.  $T = 25$  °C

Молярний коефіцієнт поглинання продукту взаємодії кверцетину з розчином  $AlCl_3$  при 430 нм дорівнював 15829 л/моль·с.

Виходячи з літературних даних [8] вилучення фенольних сполук з порошку грибів шіітаке проводили екстракцією 70 %- і 96 %-вим етиловим спиртом на водяній бані в колбі зі зворотним холодильником протягом 2 год за температури кипіння відповідного розчинника з періодичним перемішуванням.

70 %- і 96 %-вий екстракти порошку грибів шіітаке являють собою прозору рідину з дуже слабким відтінком світло-кремового кольору з характерним запахом грибів.

При випаровуванні 70 %-го екстракту до повного видалення розчинника утворюється кристалічний сухий залишок темно-коричневого кольору з блиском; при випаровуванні 96 %-го екстракту – в'язкий (аморфний) сухий залишок темно-коричневого кольору без блиску.

Результати визначення вмісту екстрактивних речовин в одержаних екстрактах наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вміст\* екстрактивних речовин у складі етанольних екстрактів грибів шіітаке

Об'ємна частка етанолу, %	Вміст екстрактивних речовин, %
70	13,4±0,6
96	6,4±0,6

\* у перерахунку на повітряно-суху сировину, враховуючи, що вологість порошку грибів шіітаке дорівнює 7 %.

Як видно з табл. 1, вихід екстрактивних речовин з порошку грибів шіітаке у випадку застосування екстрагенту 70%-го етанолу в 2 рази вищий, ніж у разі застосування 96%-го етанолу.

УФ-видимі спектри одержаних екстрактів наведені на рисунку 2 і 3.

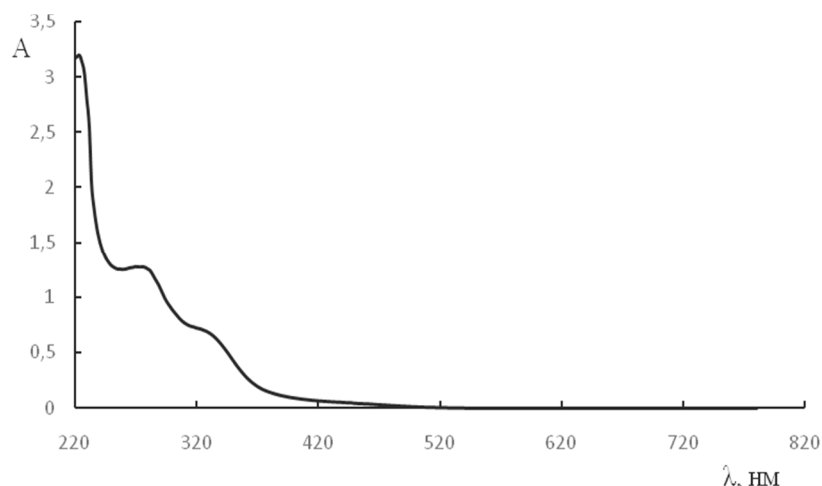


Рис. 2. УФ-видимий спектр 70%-го етанольного екстракту грибів шиїтаке,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

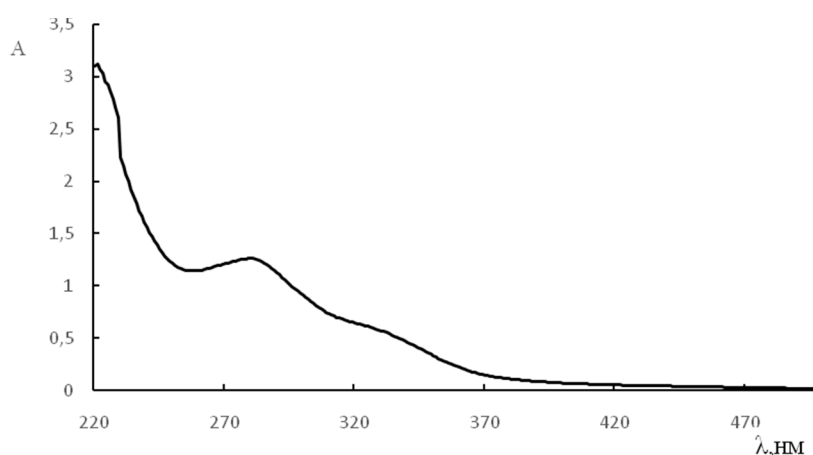


Рис. 3. УФ-видимий спектр 96%-го етанольного екстракту шиїтаке,  $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Як видно з рис. 2 і 3, в УФ-спектрах 70 %- і 96 %-го етанольних екстрактів грибів шиїтаке є смуга поглинання з максимумом при 280 нм (смуга II) і плечем при 310–350 нм, яке може відповідати смузі I і свідчити про наявність в екстрактах окремих груп фенольних сполук, серед яких флаволи, флавонони, хромони, кумарини тощо.

В УФ-спектрах простих фенолів (наприклад, пірокатехіну) або дубильних речовин (таніну), як правило, має місце лише одна інтенсивна смуга поглинання з максимумом у діапазоні 240–280 нм [8].

Отримані екстракти не дають властивих поліфенолам якісних реакцій з розчином хлориду заліза і залізоамонійного галуноу; також не дають позитивної на флавоноїди ціанідинової реакції (відновлення магнієм у кислому середовищі). Це може бути пов'язане з тим, що концентрація фенольних сполук у складі екстрактів нижче порогу чутливості відповідних кольорових реакцій.

Проте обидва екстракти утворюють забарвлені в яскраво-жовтий колір розчини при взаємодії з розчином аміаку або луку, що притаманне окремим групам фенольних сполук (флаволи, флавоноли, кумарини тощо).

При додаванні до 70 %-го етанольного екстракту грибів розчину хлориду алюмінію спостерігається забарвлення екстракту в яскраво-жовтий колір з зеленуватою флуоресценцією.

На рис. 4 наведений УФ-видимий спектр 70%-го етанольного екстракту грибів шиїтаке з додаванням до нього розчину хлориду алюмінію.

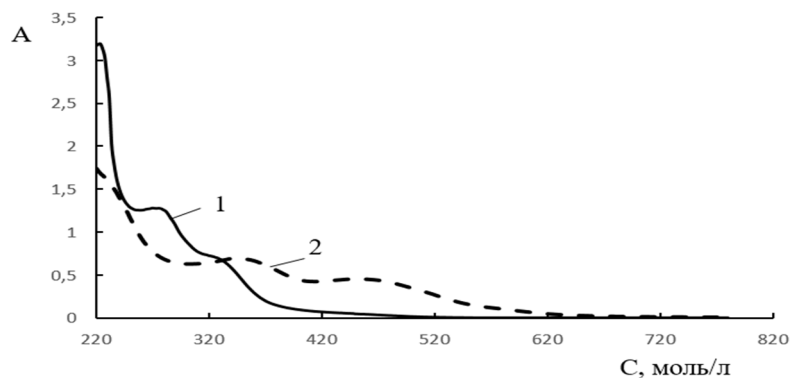


Рис. 4. УФ-видимий спектр 70%-го етанольного екстракту грибів шиїтаке:  
1 – без додавання хлориду алюмінію; 2 варіант – з додаванням хлориду алюмінію

Як видно з рис. 4, у разі додавання до екстракту розчину хлориду алюмінію спостерігається батохромний зсув довгохвильової смуги поглинання (смуги II), який проявляється максимумом при 430 нм. Згідно з літературними даними зсув довгохвильового максимуму свідчить про присутність в екстракті фенольних сполук з орто- і періоксикарбонільними групами (флаволи, флавоноли, їх глікозиди та інші), здатних утворювати з йонами Алюмінію комплексні сполуки.

Те ж саме явище спостерігається у випадку додавання хлориду алюмінію до етанольного розчину флавонолу кверцетину, що дозволяє припустити наявність в екстракті шиїтаке подібних до кверцетину фенольних сполук і використовувати його як стандарт для кількісного визначення флавоноїдів і загального вмісту фенольних сполук.

Вміст флавоноїдів у складі 70 %-го етанольного екстракту грибів шиїтаке (у перерахунку на кверцетин з урахуванням молярного коефіцієнта поглинання комплексу кверцетину з іонами  $Al^{3+}$ ) становить  $(0,038 \pm 0,003)$  % від суми екстрактивних речовин.

Результати визначення загального вмісту фенольних сполук в одержаних екстрактах методом Фоліна-Чикольте наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Загальний вміст фенольних сполук у складі етанольних екстрактів грибів шиїтаке  
(у перерахунку на кверцетин)

Об'ємна частка етанолу, %	Загальний вміст фенольних сполук, % (від суми екстрактивних речовин)	Загальний вміст фенольних сполук, % (від маси повітряно-сухої сировини)
70	$1,12 \pm 0,04$	$0,027 \pm 0,003$
96	$1,58 \pm 0,10$	$0,019 \pm 0,002$

Як видно з одержаних результатів, загальний вміст фенольних сполук у складі 70%-го етанольного екстракту грибів шиїтаке (у перерахунку на кверцетин) від маси повітряно-сухої сировини в 1,5 разу більший, ніж у складі 96%-го етанольного екстракту.

**Висновки і пропозиції.** Отже, порошок грибів шиїтаке містить флавонові речовини ідентичні кверцетину, які мають антиоксидантну дію на організм людини, впливають на тонус кровоносної системи, тому грибний порошок шиїтаке рекомендуємо до використання як інгредієнт страв лікувально-профілактичного та дієтичного харчування, компонент продуктів функціонального призначення.

Оскільки біологічно активні речовини грибного порошку руйнуються при тепловій обробці, рекомендується використовувати грибний порошок шиїтаке як інгредієнт соусної продукції закладів ресторанного господарства: дресингів, соусів та соусних паст.

Для більш повного дослідження функціональних та споживчих якостей порошку грибів шиїтаке, які вирощуються агропідприємствами України планується подальше дослідження його хімічного складу та можливостей застосування в продукції закладів ресторанного господарства.

**Список використаних джерел**

1. Антоненко А. В. Якість та безпечність соусів підвищеної харчової цінності / А. В. Антоненко // Товари і ринки : міжнародний науково-практичний журнал. – 2014. – № 1. – С. 166–174.
2. Корж З. В. Протипухлинні властивості макроміцетів України. / З. В. Корж // Фармацевтичний журнал. – 2013. – № 2. – С. 3–9.
3. Бурда Н.С. Вивчення елементарного складу грибів кордицепс, шиїтаке, рейши та майтаке / Н. С. Бурда, І. О. Журавель // Збірник наукових праць співробітників НМАПО ім. П. Л. Шупика. – 2016. – № 26. – С. 308–311.
4. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре : сборник научных трудов : в двух томах. Т. 1 / под ред. чл.-кор. НАН Украины С. П. Вассера. – К. : Альтерпрес, 2011. – 212 с.
5. Гриби як перспективна сировина для застосування в медицині / В. С. Кисличенко, Т. П. Гарник, І. О. Журавель, Н. Є. Бурда, О. М. Муртіщев, О. О. Чехута // Фітотерапія. Часопис. – 2013. – № 1. – С. 31–34.
6. Preeti A. Antioxidant mushrooms: A review. A. Preeti., S Pushpa., S Sakshi, A Jyoti // Int. Res. J. Pharm. – 2012. – № 3. – С. 65–70.
7. Войцехівська О. В. Фенольні сполуки: різноманіття, біологічна активність, перспективи застосування / О. В. Войцехівська, О. В. Ситар, Н. Ю. Таран // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія: Біологія. – 2015. – № 1 (34). – С. 104–119.
8. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. – Л. : Колос, 1972. – 456 с.

**References**

1. Antonenko, A.V. (2014). Yakist ta bezpechnist sousiv pidvyshchenoi kharchovoi tsinnosti [Quality and safety sauces high nutritional value]. *Tovary i rynky: mizhnarodnyy naukovo-praktychnyy zhurnal – Products and markets: international scientific-practical journal*, no.1, pp. 166–174 (in Ukrainian).
2. Korzh, Z.V. (2013). Protypukhlynni vlastyvoli makromitsetiv Ukrainy [Antitumor properties macromycetes Ukraine]. *Farmatsevychnyy zhurnal – Pharmaceutical journal*, no. 2, pp. 3–9 (in Ukrainian).
3. Burda, N.E , Zhuravel, I.O. (2016). Vyvchennia elementarnoho skladu hrybiv kordytseps, shyyitake, reysy ta maytake [Study of elemental composition of fungi Cordyceps, Shiitake, Reishi and maytake]. *Zbirnyk naukovykh prats spivrobitnykiv NMAPO – Collected Works employees NMAPE*, no. 26, pp. 308–311 (in Ukrainian).
4. Vasser, S.P. (eds.) (2011). *Biologicheskiye osobennosti lekarstvennykh makromitsetov v kul'ture: Sbornik nauchnykh trudov v dvukh tomakh – Biological features of medicinal macromycetes in culture: Collection of scientific works in two volumes*. Vol. 1. Kyiv: Alterpres (in Ukrainian).
5. Kyslychenko, V.S, Harnyk, T.P, Zhuravel, I.O., Burda, N. Ye., Murtischev, O.M, Chehuta, O.O (2013). Hryby yak perspektyvna syrovyna dlia zastosuvannya v medytsyni [Mushrooms as promising materials for applications in medicine] *Fitoterapiya. Chasopys – Phytotherapy. Magazine*, no. 1, pp. 21–25 (in Ukrainian).
6. Preeti, A., Pushpa, S., Sakshi, S., Jyoti, A (2012). Antioxidant mushrooms: A review. *Int. Res. J. Pharm.*, no 3, pp. 65–70 (in India).
7. Voitsekhivska, O.V, Sitar, O.B., Taran, N.Yu. (2015). Fenolni spoluky: riznomanittia, biologichna aktyvnist, perspektyvy zastosuvannya [Phenolic compounds: diversity, biological activity, prospects of]. *Visnyk Kharkivs'koho natsional'noho ahrarnoho universytetu. Seriya: Biologiya – Journal of Kharkov National Agrarian University. Series: Biology*, no. 1(34), pp. 104–119 (in Ukrainian).
8. Ermakov A.I. (eds.) (1972) *Metody byokhymycheskoho yssledovanyya rastenyi [Methods biochemically research plants]*. Leningrad: Kolos (in Ukrainian).

Michael Kravchenko, Irina Kublinska, Julia Lesishina, Olha Ryaboshapko

**VITAMIN P-ACTIVITY OF SHIITAKE MUSHROOM POWDER**

**Urgency of the research.** One of the priority issues facing the modern institutions of the restaurant business is the creation of fundamentally new technologies, wide and comprehensive application of high quality foods, which have a health improving impact on the human body.

In this context, using herbal ingredients which are rich in flavonoids (vitamin P) and have powerful antioxidant effects on the human body and tonic effect on the blood circulatory system is promising for the creation of health improving foodstuffs.

**Target setting.** To use shiitake mushrooms in the health improving food technology, it is necessary to conduct researches aimed at detecting vitamin P activity in the domestic shiitake powder.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Over the past few decades more than hundreds various researches regarding food and therapeutic properties of the higher fungi including shiitake mushrooms have been conducted in Japan, China, the United States and the United Kingdom of Great Britain.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In spite of a great number of studies on the chemical composition of shiitake mushrooms and their powders, there is a lack of data on the qualitative and quantitative flavonoid content in the powders produced from the shiitake mushrooms grown in Ukraine.

**The research objective.** The thesis covers the results of the efficient detection of the flavonoid substances in the powders produced from the shiitake mushrooms grown in Ukraine.

**The statement of basic materials.** The extraction of shiitake mushroom powder (*Lentinus edodes*) and further study on its ability to cause the vitamin P activity have been conducted. The ethanol extracts of shiitake mushrooms cultivated in Ukraine are found to contain phenolic compounds. When 70% aqueous solution of ethanol is used as an extractant, the output of of the extractive substance is twice as much as when 96% ethanol is used. 70% ethanol extract contains phenolic compounds which have the similar structure as flavonoid quercetin

**Conclusions.** The powder of shiitake mushrooms grown in Ukraine contains flavonoid substances, similar to quercetin, so it is capable of the vitamin P activity, which makes it a promising ingredient to create new health improving foodstuffs.

**Key words:** shiitake powder, flavonoids, vitamin P, quercetin, health improving foods.

*Михаїл Кравченко, Ірина Кублінська, Юлія Лєсїшина, Ольга Рябошапко*

## **Р-ВИТАМИННАЯ АКТИВНОСТЬ ГРИБНОГО ПОРОШКА ШИИТАКЕ**

Для использования грибов шиитаке в технологии лечебно-оздоровительных продуктов питания необходимы исследования, целью которых будет определение Р-витаминной активности отечественного порошка грибов шиитаке.

В работе описаны результаты качественного определения флавоновых веществ в порошке грибов шиитаке, которые выращены в Украине.

Грибной порошок шиитаке содержит флавоновые вещества, идентичные кверцетину, поэтому проявляет Р-витаминную активность, что делает его перспективным ингредиентом для создания новых пищевых продуктов лечебно-оздоровительного назначения.

**Ключевые слова:** порошок шиитаке; флавоноиды; витамин Р; кверцетин; оздоровительные пищевые продукты.

**Кравченко Михайло Федорович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології і організації ресторанного господарства, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Кравченко Михайл Федорович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии и организации ресторанного хозяйства, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Kravchenko Michael** – PhD in Technical Sciences Professor, Head of the Department of Technology and restaurant service, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** m.f.kravchenko@gmail.com

**Кублінська Ірина Анатоліївна** – аспірант кафедри технології і організації ресторанного господарства Київського національного торговельно-економічного університету (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна)

**Кублінская Ирина Анатольевна** – аспирант кафедры технологии и организации ресторанного хозяйства Киевского национального торгово-экономического университета (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина)

**Kublinska Irina** – PhD student of Department of Technology and restaurant service, Kyiv National University of Trade and Economics (80 Kievskaya Str., 21022 Vinnitsia, Ukraine)

**E-mail:** ilonka.ka21@gmail.com

**Лєсїшина Юлія Остапівна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри Донецького національного університету ім. Стуса (вул. 600-річчя, 21, м. Вінниця, 21021, Україна).

**Лєсїшина Юлия Остаповна** – кандидат химических наук, доцент кафедры Донецкого национального университета им. Стуса (ул. 600-летия, 21, г. Винница, 21021, Украина).

**Lesyshyna Julia** - PhD in chemical sciences, Associate Professor, Donetsk National University im. Stusa (21 600-richchia Str., 21021 Vinnytsia, Ukraine).

**E-mail:** yules@yandex.ru

**Рябошапко Ольга Леонідівна** – студентка Донецького національного університету ім. Стуса (вул. 600-річчя, 21, м. Вінниця, 21021, Україна).

**Рябошапко Ольга Леонидовна** – студентка Донецкого национального университета им. Стуса (ул. 600-летия, 21, г. Винница, 21021, Украина).

**Ryaboshapko Olha** – student, Stus State Donetsk University (21 600-richchia Str., 21021 Vinnytsia, Ukraine).

*Наталія Буяльська, Наталя Денисова, Олена Купчик, Тетяна Прус*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У МОЛОЦІ ЯК ЕЛЕМЕНТ РЕАЛІЗАЦІЇ СИСТЕМИ НАССР

**Актуальність теми дослідження.** *Несприятлива екологічна ситуація, що нині склалася в Україні, негативно впливає на якість та безпеку сільськогосподарської, в тому числі молочної, продукції. Екологічно забруднені молочні продукти негативно впливають на здоров'я людини, адже саме молоко входить до складу багатьох рецептур, особливо дитячого харчування.*

**Постановка проблеми.** *Визначення концентрації важких металів у молоці та молочних продуктах, з огляду на їх загальнотоксичні, канцерогенні, тератогенні, ембріотоксичні властивості, є необхідною ланкою при реалізації системи НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point) на підприємствах.*

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** *Вирішенню наукових та практичних питань, пов'язаних із моніторингом важких металів у довіллі, накопиченню в кормах, воді, продукції тваринництва, розробці способів їх елімінації із організму, присвячені роботи багатьох відомих вчених та практиків.*

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** *Незважаючи на численні дослідження, в літературних джерелах відсутні систематичні відомості про вміст важких металів в молоці та молочній продукції та відомості про ризики, пов'язані з їх вживанням.*

**Постановка завдання.** *Метою роботи було визначення вмісту важких металів, як одних з основних хімічних чинників небезпек при реалізації системи НАССР, в зразках молока та молочної продукції та на основі отриманих результатів проаналізувати ризики, спричинені надходженням важких металів до організму людини з молочної продукції.*

**Викладення основного матеріалу.** *Вміст важких металів визначали методом вольтамперометричного аналізу в зразках молока незбираного з різних районів Чернігівської області та зразках пастеризованого молока різних виробників. Сучасні нормативи не враховують фактичного рівня споживання основних продуктів харчування, тому за методикою, запропонованою Гарвардським інститутом міжнародного розвитку, розраховували середню добову дозу важких металів та величини індивідуального ризику смерті при вживанні забрудненого молока.*

**Висновки.** *Високий рівень небезпеки за розрахованим рівнем ризику встановлений для молока з Менського району; відносно низький рівень – для молока пастеризованого виробника №1; для решти зразків молочної продукції – середній. Запропоновані заходи зменшення вмісту важких металів.*

**Ключові слова:** *важкі метали; індивідуальний ризик; забруднення харчових продуктів; НАССР; вольтамперометричний аналіз.*

**Постановка проблеми.** Одним із найсильніших за дією та найбільш поширеним хімічним забрудненням харчових продуктів є забруднення іонами важких металів. Токсико-гігієнічна характеристика металічних забруднень важлива для регламентування вмісту токсичних металів у продовольчій сировині і харчовій продукції. У світових ресурсах продовольчих товарів молоко та молочні продукти посідають вагоме місце. Щорічне світове виробництво молока становить останнім часом приблизно 700 млн т. Екологічно забруднені молочні продукти негативно впливають на здоров'я людини, адже саме молоко входить до складу багатьох рецептур, особливо дитячого харчування. Застосування системи НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point – аналіз небезпечних чинників і критичні контрольні точки) у технологічному процесі одержання і переробки молочної сировини та регулювання безпеки на різних етапах виробничого ланцюга є основою виробництва безпечної харчової продукції, в тому числі щодо вмісту важких металів.

Незважаючи на те, що Законом України «Про молоко та молочні продукти» (2015) сьогодні законодавчо гарантовано безпечність та якість молока і молочної продукції, в Україні умови виробництва молока значно гірші від умов у країнах ЄС. Несприятлива екологічна ситуація, що нині склалася в Україні, негативно впливає на якість та безпеку сільськогосподарської, в тому числі молочної продукції. Визначення концентрації важких металів у молоці та молочних продуктах, з огляду на їх загальнотоксичні, канцерогенні, тератогенні, ембріотоксичні властивості, є необхідною ланкою при реалізації системи НАССР на підприємствах [1–5].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Впровадження системи контролю НАССР особливо актуально на молочних підприємствах у зв'язку з деякими особливостями цієї сировини [6; 7]. Вирішенню наукових та практичних питань, пов'язаних із моніторингом важких металів у довіллі, накопиченню в кормах, воді, продукції тваринни-

цтва, розробці способів їх елімінації з організму, присвячені роботи багатьох відомих учених та практиків (А. Д. Покаржевський, Ю. В. Алексеєв, В. В. Добровольський, В. М. Федоров, Д. О. Мельничук, І. М. Трахтенберг, Д. В. Янович, М. Ю. Євтушенко, Г. Н. Вязенен та ін.). Аналіз результатів досліджень вмісту важких металів у молоці корів свідчить про наявність міжгрупових різниць у концентрації досліджуваних елементів залежно від періоду дослідження. Зокрема, вміст свинцю і міді у молоці корів у стійловий період знижувався та спостерігалася тенденція до зростання концентрації цинку, кадмію, свинцю, стронцію і міді у молоці корів дослідних груп у пасовищний період [8]. Вірогідне зростання вмісту кадмію у молоці корів у пасовищний період зумовлене вищим рівнем його у кормах раціону, а також, мабуть, високою здатністю всмоктування з кишечника. В роботах Л. Тарасенко та В. Рудь були проведені дослідження щодо визначення вмісту важких металів за періодами лактації [9].

Як свідчать дані літературних джерел, у зонах екологічного забруднення внаслідок дії різних токсикантів, включаючи важкі метали, спостерігається порушення обміну речовин та імунобіологічної реактивності організму продуктивних тварин. Екологічно забруднені молочні і м'ясні продукти негативно впливають на здоров'я людини. Тому виникає необхідність оцінювати стан надходження токсикантів з кормів та води в організм і кумуляцію їх в органах та тканинах тварин, що забезпечить з'ясування ролі тваринного організму в біогенній міграції речовин, які можуть впливати на екологічну безпечність продуктів харчування.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Відповідно до Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів», який вступив у силу 20.09.2015 р., встановлюється ризик-орієнтовний підхід до здійснення контролю безпеки харчових продуктів. У літературних джерелах відсутні систематичні відомості про вміст важких металів у молоці та молочній продукції Чернігівської області, тому існує потреба в їх визначенні та дослідженні ризиків, пов'язаних з ними.

**Мета статті:** визначити вміст важких металів, як одних з основних хімічних чинників небезпек при реалізації системи НАССР, у молоці та молочній продукції та на основі отриманих результатів проаналізувати ризики, спричинені надходженням важких металів до організму людини з молочної продукції.

**Виклад основного матеріалу.** Для впровадження системи НАССР виробники зобов'язані не тільки досліджувати відповідний продукт і методи виробництва, а і застосовувати цю систему та її вимоги до постачальників сировини, допоміжних матеріалів, а також до системи оптової та роздрібної торгівлі. Оскільки загроза безпеці харчових продуктів може виникнути на будь-якій стадії ланцюга виробництва, є потрібним тотальний контроль.

Вміст важких металів визначали у зразках домашнього молока різних районів Чернігівської області (Щорського (2 зразки), Менського (1 зразок) та Чернігівського (2 зразки) та зразках пастеризованого молока виробників, широко представлених у супермаркетах м. Чернігова та Чернігівської області.

Сире коров'яче молоко було отримане від здорових тварин та за показниками якості відповідало вимогам ДСТУ 3662-97 на заготівельне молоко.

Молоко після доїння було профільтроване та охолоджене. Молоко не мало сторонніх, не властивих свіжому молоку присмаків і запахів. За зовнішнім виглядом та консистенцією – однорідна рідина від білого до ясно-жовтого кольору, без осаду та згустків, з густиною не менше 1027 кг/м<sup>3</sup>. Відбирання проб проводили згідно з ГОСТ 13928. Точкові проби відбирали пробовідбірниками (металева або пластмасова циліндрична трубка з внутрішнім діаметром 9 мм за всією довжиною) або спеціальною квартою з подовженою ручкою місткістю 0,50 або 0,25 дм<sup>3</sup>. Відібрані точкові проби зливали у посудину, перемішували, отримуючи таким чином об'єднану пробу об'ємом близько



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

1,0 дм<sup>3</sup>. Для проведення аналізу з об'єднаної проби після перемішування виділяли пробу об'ємом близько 0,5 дм<sup>3</sup>.

У процесі підготовки проб для аналізу за фізико-хімічними показниками молоко перемішували, перевертаючи посудину не менше трьох разів або переливаючи в іншу посудину та назад не менше двох разів, підігрівали або охолоджували до температури  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ . Перед дослідженням консервовану пробу та пробу з відстояним шаром вершків нагрівали до температури  $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$  на водяній бані температурою  $(48 \pm 2)^\circ\text{C}$  та охолоджували до температури  $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ .

Методика визначення важких металів засновувалась на проведенні інверсійно-вольтамперометричного аналізу водного розчину проби (на аналізаторі TA-lab з відповідним програмним забезпеченням) після попередньої пробопідготовки. Пробопідготовка харчових продуктів поєднувала метод мокрої мінералізації і сухого озолення з добавками та проводилась за допомогою двокамерної печі ПДП, що програмується. Отримані вольтамперометричні криві представлені на рис. 1, 2.

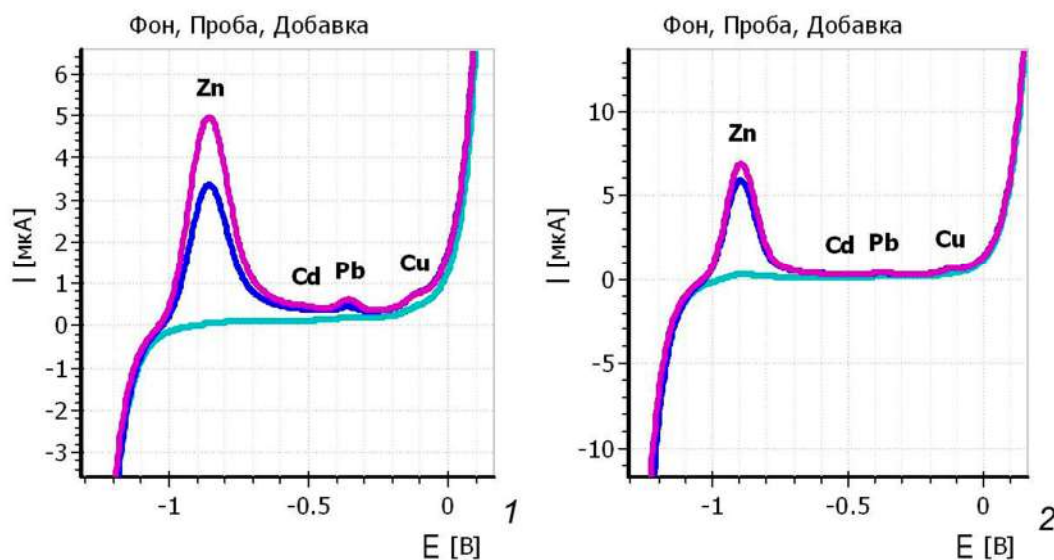


Рис. 1. Вольтамперометричні криві, молоко пастеризоване:  
1 – виробник № 1; 2 – виробник № 2

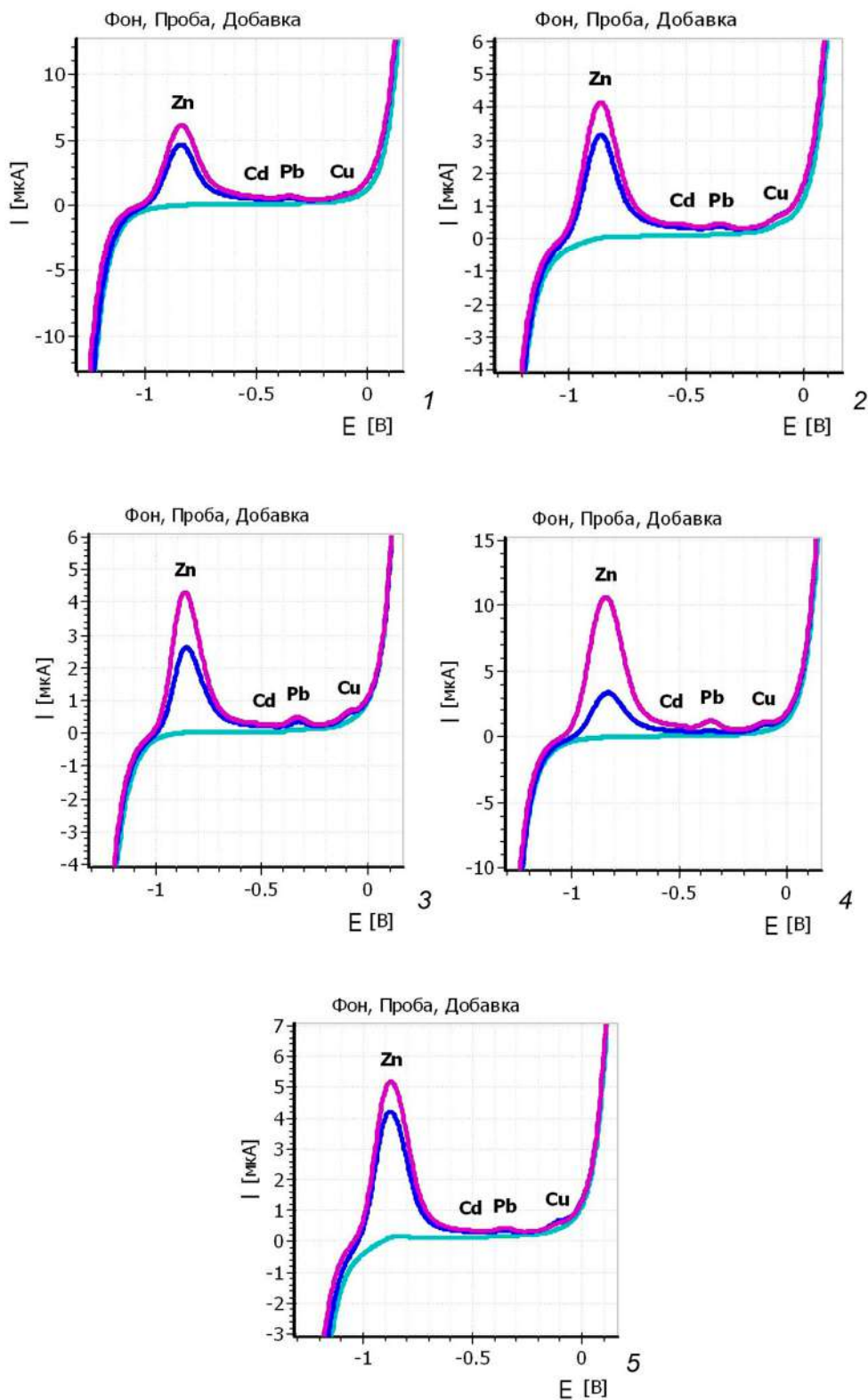


Рис. 2. Вольтамперометричні криві, молоко незбиране:  
 1 – Чернігівський район, зразок № 2; 2 – Щорський район, зразок № 2; 3 – Чернігівський район,  
 зразок № 1; 4 – Щорський район, зразок № 1; 5 – Менський район

Отримані на основі аналізу вольтамперометричних кривих результати вмісту важких металів у зразках молока наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

*Результати дослідження вмісту важких металів у незбираному молоці, мг/кг*

Зразок	Cu	Zn	Cd	Pb
ГДК	1	5	0,03	0,1
Менський район	3,10±0,03	43,0±0,4	1,50±0,05	0,24±0,02
Чернігівський район, зразок № 1	0,85±0,03	4,8±0,2	-	0,17±0,01
Чернігівський район, зразок № 2	0,64±0,04	12,0±0,3	0,030±0,005	0,29±0,01
Щорський район, зразок №1	-	22±0,5	-	0,70±0,04
Щорський район, зразок № 2	-	4,6±0,2	0,030±0,001	0,24±0,07

Таблиця 2

*Результати дослідження вмісту важких металів у пастеризованому молоці різних виробників, мг/кг*

Зразок	Cu	Zn	Cd	Pb
ГДК молока	1	5,0	0,030	0,10
Виробник № 1	-	5,1±0,2	-	0,073±0,002
Виробник № 2	-	13,0±0,2	0,083±0,002	0,19±0,01
Виробник № 3	-	6,3±0,1	-	0,11±0,03

У молоці із Менського району Чернігівської області концентрація всіх важких металів перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК) [10]. Якщо вміст цинку та купруму перевищує ГДК відповідно в 3,1 та 8,6 разів, концентрація плюмбуму в 2,4 рази, то концентрація одного з найтоксичніших елементів – кадмію перевищує ГДК у 50 разів.

Обидва зразки молока з різних населених пунктів Чернігівського району мають підвищений вміст плюмбуму (на рівні приблизно 2 ГДК). Вміст Кадмію не перевищує норми, а вміст менш токсичних елементів Цинку та Купруму також незначний. Дещо підвищений вміст цинку в другому зразку може пояснюватись зберіганням молока в оцинкованих відрах.

Щодо молока зі Щорського району, виявлений підвищений вміст плюмбуму (в 7 та 2,4 рази) та в 1 зразку – цинку, що також, за свідченнями постачальника, пояснюється зберіганням молока в оцинкованих відрах.

Щодо зразків пастеризованого молока різних виробників, то слід зазначити, що повністю відповідає нормам молоко виробника № 1, який сертифікований відповідно ISO НАССР. Для виробника № 3 – концентрація плюмбуму в молоці на межі ГДК, дещо підвищений вміст цинку. Концентрація плюмбуму та кадмію перевищує допустиму відповідно в 2 та 3 рази для молока виробника № 2. В інших зразках кадмію не виявлено.

Нормативи ГДК харчових продуктів не враховують сучасних соціально-економічних умов, тобто фактичного рівня споживання основних продуктів харчування, тому необхідно врахувати середню добову дозу важких металів та величини індивідуального ризику смерті при вживанні забрудненого важкими металами молока [11–13].

Середня добова доза важких металів, що потрапляють до організму людини при регулярному пероральному прийомі продуктів [11]:

$$CDI = X \cdot P \cdot 350 \cdot 20 / 70 \cdot 70 \cdot 365 \cdot 1000, \quad (1)$$

де X – концентрація важких металів в молоці, мг/кг;

P – щоденне споживання продукту, г/добу (для молока 654 г);

350 – частота впливу доба/рік;

20 – тривалість впливу фактора, год;

70 – середня вага людини, кг;

70 – середній час життя людини, років;

1000 – перевідний коефіцієнт, г/кг.

Плюмбум та кадмій відносяться до канцерогенних забруднюючих речовин, формула для розрахунку індивідуального ризику смерті (LR) (табл. 3), запропонована Гарвардським інститутом міжнародного розвитку [11], має вигляд:

$$LR = CDI \cdot SF, \quad (2)$$

де SF – фактор канцерогенного потенціалу,  $\text{кг} \cdot \text{добу} \cdot \text{мг}^{-1}$  (для Плюмбуму становить  $0,047 \text{ кг} \cdot \text{добу} \cdot \text{мг}^{-1}$ , для Кадмію –  $0,38 \text{ кг} \cdot \text{добу} \cdot \text{мг}^{-1}$ ).

Таблиця 3

*Індивідуальний ризик смерті при вживанні забрудненого важкими металами молока*

Молоко	Важкі метали	
	Cd	Pb
Менський район	$1,0 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
Чернігівський район, зразок № 1	-	$2,0 \cdot 10^{-5}$
Чернігівський район, зразок № 2	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$3,4 \cdot 10^{-5}$
Щорський район, зразок №1	-	$7,9 \cdot 10^{-5}$
Щорський район, зразок № 2	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$
Виробник № 1, пастеризоване	-	$8,4 \cdot 10^{-6}$
Виробник № 2, пастеризоване	$7,9 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-5}$
Виробник № 3, пастеризоване	-	$1,3 \cdot 10^{-6}$

Результати оцінювання ступеня індивідуального ризику смерті при вживанні в їжу молока, що містить сполуки плюмбуму та кадмію, розраховані за формулою (2) показали відповідно 4 (високий), 5 (середній) і 6 (відносно низький) рівні небезпек за порядковою шкалою для ранжування ступеня ризику смерті, запропонованою Гарвардським інститутом міжнародного розвитку [13]. У першому випадку необхідно приймати термінові заходи щодо зниження вмісту важких металів, у другому випадку необхідно детальне обґрунтування прийнятності ризику, а у третьому – ризик прийнятний без обмежень.

Крім того, у зв'язку з єдиним шляхом надходження плюмбуму та кадмію та однонаправленим характером їх впливу на людину, можна припустити, що у разі споживання в їжу забруднених цими важкими металами продуктів харчування їх негативний вплив може збільшуватися. При цьому кінцеві рівні ризику будуть набагато вищі. Такі ризики потребують розробки та проведення планових оздоровчих заходів для населення. Планування заходів щодо зменшенню ризиків повинно здійснюватися на основі більш ґлибленого аналізу різних аспектів проблеми накопичення важких металів та встановленні ступенів їх пріоритетності щодо інших гігієнічних екологічних, соціальних та економічних проблем на цій території [12].

Таким чином, необхідно дотримуватися принципів системи НАССР, таких як своєчасне виявлення та аналіз небезпек (у цьому випадку забруднення продуктів важкими металами) на всіх етапах виробництва харчових продуктів.

Подальші дослідження будуть присвячені аналізу вмісту важких металів у продуктах переробки молока, в тому числі в кисломолочній продукції.

**Висновки та пропозиції.** Визначений вміст важких металів (Cu, Zn, Pb, Cd) у молоці незбираному та молоці різних виробників, представлених у торговельних мережах м. Чернігова. Найбільша концентрація важких металів виявлена в молоці незбираному з Менського району, яка значно перевищує ГДК.

На основі оцінки ризиків, викликаних вживанням забрудненої важкими металами молочної продукції мешканцями Чернігівської області, встановлено три рівні небезпеки

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

за вмістом важких металів: високий – для молока з Менського району; відносно низький рівень - молоко виробника № 1; решта зразків молочної продукції – середній.

Запропоновано заходи зменшення вмісту важких металів у молочної продукції, що включають переробку молока; розроблення та впровадження новітніх технологій щодо введення добавок, які сприяють зменшенню вмісту важких металів; використання системи НАССР, що дасть змогу ефективно виявляти й аналізувати ризики на всіх етапах виробництва молочної продукції.

**Список використаних джерел**

1. Романов Л. Важкі метали в молоці та продуктах його переробки / Л. Романов // Тваринництво України. – 2000 – № 7–8. – С. 19.
2. Кравців Р. Й. Сумісний вплив важких металів на організм тварин / Р. Й. Кравців, Г. А. Буцяк // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – 2008. – Т. 10, № 2 (37). – С. 3–8.
3. Особливості впровадження системи НАССР на молокопереробних підприємствах України / Н. М. Богатко, В. В. Власенко, Л. М. Богатко, В. З. Салата, В. І. Семанюк // Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Гжицького. – 2011. – Т. 13, № 4 (50). – Частина 4. – С. 171–176.
4. НАССР: Аналіз небезпечних чинників та критичні точки контролю у виробництві харчових продуктів і продовольчої сировини: Навчальний посібник. – К. : ДП «УкрНДНЦ». – 2005. – 70 с.
5. Buialska N. Problem of accumulation of heavy metals in medicinal plants / N. Buialska, N. Denisova, E. Kupchik // Canadian scientific journal. – 2015. – Issue 2. – Pp. 13–19.
6. Посібник для малих та середніх підприємств молокопереробної галузі з підготовки та впровадження системи управління безпечністю харчових продуктів на основі концепції НАССР. Локальні інвестиції та національна конкурентоспроможність. – К., 2010. – 200 с.
7. Впровадження систем управління безпечністю харчових продуктів на українських підприємствах харчової промисловості. Аналіз витрат і вигод [Електронний ресурс]. – К., 2011. – Режим доступу : <http://www.ifc.org/Ukraine/FS>.
8. Кравців Р. Й. Продуктивність та обмін речовин у лактуючих корів за різного вмісту важких металів у раціонах / Р. Й. Кравців // Вісник аграрної науки. – 2004. – № 1. – С. 29–31.
9. Тарасенко Л. О. Санітарно-гігієнічна оцінка якості молока та молочних продуктів у залежності від періоду лактації корів української червоної молочної породи / Л. О. Тарасенко, В. І. Рудь // Науково-технічний бюлетень Інституту біології тварин і Державного науково-дослідного контрольного інституту ветпрепаратів та кормових добавок. – 2014. – Вип. 15. – № 2–3. – С. 179–182.
10. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов (Медико-біологічні вимоги та санітарні норми якості продовольчої сировини та харчових продуктів). МБТ и СН № 5061. – [Чинний від 1989-08-01]. – МОЗ СРСР, 1989.
11. Методические рекомендации по анализу и управлению риском воздействия на здоровье населения вредных факторов окружающей среды / А. А. Быков, Л. Г. Соленова, Г. М. Земляная, В. Д. Фурман. – М. : АНКИЛ, 1999. – 72 с.
12. Ваганов П. А. Экологические риски : учебное пособие / П. А. Ваганов, Ман-Сунг Им. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2001. – 152 с.
13. Журавлева Н. И. Экологический контроль уровня загрязнения свинцом и кадмием мяса и молока крупного рогатого скота / Н. И. Журавлева, А. Г. Бубнов, В. И. Гриневиц // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 3. – С. 13–19.

**References**

1. Romanov, L. (2000). Vazhki metaly v molotsi ta produktakh yoho pererobky [Heavy metals in milk and products of its processing]. *Tvarynnystvo Ukrainy – Livestock of Ukraine*, no. 7–8, p. 19 (in Ukrainian).
2. Kravtsiv, R. Y., Butsiak, H. A. (2008). Sumisnyi vplyv vazhkykh metaliv na orhanizm tvaryn [The combined effect of heavy metals on animals]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S.Z. Hzhystskoho – Scientific messenger of LNUVMB named after S.Z. Gzhystyij*, vol. 10, no. 2 (37), pp. 3–8 (in Ukrainian).
3. Bogatko, N.M., Vlasenko, V.V., Bogatko, L.M., Salata, V.Z., Semaniuk, V.I. (2011). Osoblyvosti vprovadzhennia systemy NASSR na molokopererobnykh pidpriemstvakh Ukrainy [Particular qualities in using hazard system on a ukrainian milk-processing enterprises]. *Naukovyi visnyk*

*LNUVMBT imeni S.Z. Hzhyskoho – Scientific messenger of LNUVMB named after S.Z. Gzhystyj*, Vol. 13, no. 4 (50), issue 4, pp. 171–176 (in Ukrainian).

4. HACCP: Analiz nebezpechnykh chynnykiv ta krytychni tochky kontroliu u vyrobnytstvi kharchovykh produktiv i prodovolchoi syrovyny: Navchalnyi posibnyk [Hazard analysis and critical control point of the control in production of food products and food raw materials: Textbook]. (2005). Kyiv: DP «UkrNDNTs» (in Ukrainian).

5. Buialska, N., Denisova N., Kupchik E. (2015). Problem of accumulation of heavy metals in medicinal plants. *Canadian scientific journal*, issue 2, pp.13–19.

6. Posibnyk dlia malykh ta serednikh pidpriemstv molokopererobnoi haluzi z pidhotovky ta vprovadzhennia systemy upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv na osnovi kontseptsii NASSR. Lokalni investytsii ta natsionalna konkurentospromozhnist [A manual for small and medium-sized enterprises of the milk processing industry on the preparation and implementation of a food safety management system based on the HACCP concept. Local investments and national competitiveness] (2010). Kyiv (in Ukrainian).

7. Vprovadzhennia system upravlinnia bezpechnistiu kharchovykh produktiv na ukrainskykh pidpriemstvakh kharchovoi promyslovosti. Analiz vytrat i vyhod [Introduction of food safety management systems at Ukrainian food industry enterprises. Analysis of the cost and benefits]. Kyiv. Retrieved from: <http://www.ifc.org/Ukraine/FS>.

8. Kravtsiv, R.I. (2004). Produktyvnist ta obmin rechovyn u laktuiuchykh koriv za riznoho vmistu vazhkykh metaliv u ratsionakh [Productivity and metabolism in lactating cows at different level of heavy metals in rations]. *Visnyk ahrarnoi nauky – Bulletin of Agricultural Science*, no. 1, pp. 29–31 (in Ukrainian).

9. Tarasenko, L.O., Rud, V.I. (2014). Sanitarno-hihienichna otsinka yakosti moloka ta molochnykh produktiv u zalezhnosti vid periodu laktatsii koriv ukrainskoi chervonoj molochnoi porody [Sanitary-hygienic assessment of the quality of milk and dairy products, depending on the period of lactation cows ukrainian red dairy breed]. *Naukovo-tekhnichnyi biuleten Instytutu biologii tvaryn i Derzhavnoho naukovo-doslidnoho kontrolnoho instytutu vetpreparativ ta kormovykh dobavok – The scientific and technical bulletin of the SCIVP of veterinary medical products and feed additives*, issue 15, no. 2–3, pp. 179–182 (in Ukrainian).

10. Mediko-biologicheskie trebovaniia i sanitarnye normy kachestva prodovolstvennogo syria i pishchevykh produktov (Medyko-biologichni vymohy ta sanitarni normy yakosti prodovolchoi syrovyny ta kharchovykh produktiv) [Medical and biological requirements and sanitary standards of quality of food raw materials and food products] (1989). MBT i SN 5061 from 01.08.1989, № 5061.

11. Bykov, A.A., Solenova, L.G., Zemlianaia, G.M., Furman, V.D. (1999). Metodicheskie rekomendatsii po analizu i upravleniiu riskom vozdeistviia na zdorove naseleniia vrednykh faktorov okruzhaiushchei sredy [Methodological recommendations on the analysis and management of the risk of influence of harmful environmental factors on the population's health]. Moscow: Izdatelstvo ANKIL (in Russian).

12. Vaganov, P.A., Man-Sung Im. (2001). *Ekologicheskie riski. Uchebnoe posobie. [Ecological risks. Textbook.]*. Sankt-Peterburg: Izd-vo S.-Peterb un-ta (in Russian).

13. Zhuravleva, N.I., Bubnov, A.G., Grinevich, V.I. (2011). Ekologicheskii kontrol urovnia zagriazneniia svintsom i kadmiem miasa i moloka krupnogo rogatogo skota [Ecological control of the level of contamination with lead and cadmium of meat and milk of cattle]. *Bezopasnost v tekhnosfere – Safety in technosphere*, no. 3, pp. 13–19 (in Russian).

Nataliia Buialska, Natalia Denisova, Elena Kupchik, Tetyana Prus

## RESEARCH OF HEAVY METALS CONTENT IN MILK AS AN ELEMENT OF THE IMPLEMENTATION OF HACCP

**Urgency of the research.** The unfavorable ecological situation existing in Ukraine negatively affects the quality and safety of agricultural products, including dairy products. Contaminated dairy products negatively affect human health, because it is milk that is a part of many recipes, especially of baby food.

**Target setting.** Determination of the heavy metals concentration in dairy products, taking into account their mutagenic, carcinogenic, teratogenic, embryonic, gonadotoxic impact, is necessary in the implementation of HACCP system (Hazard Analysis and Critical Control Point).

**Actual scientific researches and issues analysis.** The works of many scientists are devoted to the solution of issues related to the heavy metals monitoring in the environment, as well as the accumulation of heavy metals in feed, water, livestock products, and the development of the methods for their elimination.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Despite of numerous researches, in the literature there are no systematic information about the heavy metals content in dairy products and information about the risks associated with their consumption.

**The research objective.** The aim of the work was to determine the content of heavy metals (as one of the main chemical hazards during the implementation of HACCP system) in dairy samples and on the basis on the results obtained to analyze the risks caused by the entry of heavy metals.

**The statement of basic materials.** The heavy metals content in the samples of whole milk from different districts of the Chernigov region and in the samples of pasteurized milk of different manufacturers was determined by the method of voltammetric analysis. Current standards do not take into account the actual level of food products consumption, therefore the average daily dose of heavy metals and the individual risk of death during consumption contaminated milk was calculated according to the methodology proposed by the Harvard Institute for International Development.

**Conclusions.** A high hazard level is established for milk from the Menskiy district; relatively low – for the pasteurized milk of the manufacturer 1; for other samples – medium level. Measures to reduce the heavy metals content are proposed.

**Key words:** heavy metals, individual risk, food contamination, HACCP, voltammetric analysis.

Наталья Буяльская, Наталья Денисова, Елена Купчик, Татьяна Прус

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛИХ МЕТАЛЛОВ В МОЛОКЕ КАК ЭЛЕМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ НАССР

Методом инверсионной вольтамперометрии определена концентрация тяжелых металлов (свинца, кадмия, цинка и меди) как опасных химических факторов при реализации системы НАССР (Hazard Analysis and Critical Control Point) на пищевых предприятиях, в образцах молока цельного из разных районов Черниговской области и образцах молока пастеризованного, широко представленного в торговых сетях г. Чернигова и Черниговской области. Проведен анализ индивидуальных рисков смерти с учетом суточной дозы потребления и установлены уровни опасности при употреблении загрязненной тяжелыми металлами молочной продукции. Предложены меры по уменьшению содержания тяжелых металлов.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; индивидуальный риск; загрязнение пищевых продуктов; НАССР; вольтамперометрический анализ.

**Буяльська Наталія Павлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Буяльская Наталья Павловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Nataliia Buialska** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

**ResearcherID:** G-2935-2014

**Денисова Наталья Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Денисова Наталья Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Natalia Denisova** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** 4386793@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3522-4210>

**ResearcherID:** G-6068-2016

**Купчик Елена Юрійвна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії, - Чернігівський національний педагогічний університет імені Т. Г. Шевченка (вул. Гетьмана Полуботка, 53, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Купчик Елена Юрьевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, Черниговский национальный педагогический университет имени Т. Г. Шевченко (ул. Гетьмана Полуботка, 53, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Kupchik Elena** – PhD in Chemical Sciences, Associate Professor of the Chemical Department, Chernihiv T. G. Shevchenko National Pedagogical University (53 Polubotka Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kupchik.olena@gmail.com

**Прус Тетяна Іванівна** – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Прус Татьяна Ивановна** – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Prus Tetyana** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** prustatjana4@gmail.com

УДК 66.011:664.002.5

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-188-194

*Людмила Мостова, Леонід Мартиненко, Станіслав Касьянов***ВПЛИВ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ ХАРЧОВОГО ПРОДУКТУ  
НА ВТРАТИ ВІТАМІНУ С ПРИ ТЕРМІЧНІЙ ОБРОБЦІ**

**Актуальність теми дослідження.** Найбільш поширеним методом обробки харчових продуктів (80 %) є теплова обробка. Ця обробка має недоліки: втрати необхідних організму людини компонентів, створення канцерогенних речовин та інше.

**Постановка проблеми.** Одним із шляхів розв'язання вказаних проблем може бути створення нових механізмів моделювання, технологій і обладнання для обробки харчових продуктів та отримання виробів, що відповідають фізіологічним потребам людини. **Аналіз останніх досліджень і публікацій** показує, що на сьогоднішній час не розроблений механізм моделювання зміни вмісту вітаміну С в харчовому продукті, який має геометричну форму циліндра під дією явищ теплопровідності, дифузії та хімічних перетворень.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відомо, що харчові продукти за гідротермічної обробки можуть мати різні геометричні форми: кулі, циліндра, прямокутника та інші. Тому за моделювання зміни концентрації вітаміну С в харчовому продукті під час теплової обробки потрібно враховувати їх геометричну форму.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є вдосконалення механізму моделювання гідротермічної обробки картоплі, що має геометричну форму циліндра для зменшення втрат вітаміну С у кулінарних виробках.

**Викладення основного матеріалу.** Методом фізичного моделювання побудовано диференціальне рівняння, яке описує зміну вітаміну С в харчовому продукті, який має геометричну форму циліндра за рахунок дифузії та хімічних перетворень. Отримано рішення такого диференціального рівняння. Досліджено зміну концентрації вітаміну С в картоплі, що має геометричну форму циліндра і кулі від їх лінійних розмірів.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що при гідротермічній обробці картоплі при температурі 100 °С до стадії кулінарної готовності існує оптимальний лінійний розмір при якому в ній відбувається мінімальні втрати вітаміну С. Наприклад, для картоплі, що має геометричну форму циліндра радіус якого дорівнює 20 мм максимальне значення середньої концентрації вітаміну С (С=60 % відносно сирої картоплі) досягається при висоті циліндра рівній 16 мм. Для картоплі, що має геометричну форму кулі максимальне значення середньої концентрації вітаміну С (С=50 %) досягається при радіусі рівному 14 мм.

**Ключові слова:** моделювання; харчові продукти; термічна обробка; вітамін С.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Найбільш поширеним методом обробки харчових продуктів (80 %) є теплова обробка. Ця обробка має недоліки: великі енергозатрати, втрати необхідних організму людини компонентів, створення канцерогенних речовин та інше.

Порушена екологія та деформований раціон харчування призводить до зниження загальної резистентності організму, поширення багатьох хвороб, у тому числі пов'язаних із обміном речовин, серед яких – цукровий діабет, ожиріння та ін. Традиційне харчування не забезпечує високого профілактичного ефекту. Відповідно до «Глобальної стратегії ВООЗ у галузі харчування, фізичної активності і здоров'я» (Резолюція 57.17 Всесвітньої асамблеї охорони здоров'я від 22 травня 2004 р.), поступова заміна традиційного асортименту харчових продуктів на функціональні, які сприяють підтриманню нормального функціонування всіх органів і систем організму людини, забезпеченню здоров'я та довголіття, є важливим напрямом розвитку цивілізованого ринку.

Серед основних засад державної політики стосовно якості та безпеки харчових продуктів є розробка стратегії щодо створення нових науково обґрунтованих технологій екологічно чистих харчових продуктів, у тому числі спеціального призначення [1]. Одним із шляхів вирішення вказаних проблем може бути створення нових механізмів моделювання, технологій і обладнання для обробки харчових продуктів та отримання виробів, що відповідають фізіологічним потребам людини. Тому вдосконалення механізмів моделювання процесу термічної обробки харчових продуктів для визначення оптимальних технологічних параметрів є **актуальним**.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**, які присвячені розробці механізму моделювання зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті під час гідротермічної обробки.

У роботі [2] розроблено механізм моделювання процесу досягнення харчовим продуктом стану кулінарної готовності під час гідротермічній обробки за умови, що тем-



пературне поле продукту змінюється за часом та неоднорідне вздовж просторової координати. Визначено тривалість  $\tau$ , протягом якої картопля досягає стану кулінарної готовності залежно від температури обробки в діапазоні від 75 до 175 °С і лінійних розмірів – (1...80 мм). Дослідні зразки картоплі мають геометричну форму циліндра та прямокутного паралелепіпеда. Встановлено, що тривалість обробки  $\tau$  залежить від геометричної форми, лінійних розмірів, теплофізичних параметрів, енергії активації структурних перетворень харчового продукту та температури обробки.

У роботі [3] розроблено фізико-математичну модель зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті, що має геометричну форму кулі, під дією процесів дифузії та термічного перетворення.

У роботі [4] методом фізичного моделювання досліджено зміну концентрації вітаміну С у картоплі, яка має радіус 10 мм, залежно від температури обробки до стану кулінарної готовності. Встановлено, що ця залежність має максимальне значення відносною концентрації вітаміну  $C_{\max}$  (73 % – відносно сирій картоплі) за температури  $T_{\max}$ , дорівнює 117 °С. Встановлено, що величини  $T_{\max}$  і  $C_{\max}$  залежать від лінійного розміру, теплофізичних параметрів, енергії активації структурних перетворень харчового продукту та енергії активації вітаміну С.

Відомо, що харчові продукти за гідротермічної обробки можуть мати різні геометричні форми: кулі, циліндра, прямокутника та інші. Тому за моделювання зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті під час теплової обробки потрібно враховувати їх геометричну форму.

**Метою цієї роботи** є вдосконалення механізму моделювання гідротермічної обробки харчового продукту для зменшення втрат вітаміну С у кулінарних виробках, що мають геометричну форму циліндра.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Фізичну модель зміни вітаміну С у харчовому продукті за термічної обробки можна представити таким чином.

Харчовий продукт має геометричну форму циліндра (радіус  $R$  і висота  $h$ ). Початкова температура його дорівнює  $T_0$ . Харчовий продукт розміщується в нагрітому до температури  $T_k$  середовищі. Температура середовища підтримується постійною. Після цього в харчовому продукті інтенсифікуються такі фізичні та хімічні явища:

1. Згідно з явищем теплопровідності температура харчового продукту буде збільшуватися, оскільки початкова температура продукту менша за температуру нагрітого середовища.

2. Згідно з явищем дифузії кількість вітаміну С у продукті почне зменшуватися, оскільки концентрація вітаміну в продукті значно вища від концентрації вітаміну в нагрітому середовищі.

3. За рахунок хімічних перетворень під дією енергії теплового руху молекули вітаміну С будуть руйнуватися.

Припустимо, що початкова концентрація  $c_0$  вітаміну С постійна в різних частинах продукту. Концентрація вітаміну в нагрітому середовищі, де розміщують харчовий продукт, відсутня та не змінюється з часом.

Згідно зі сформульованою фізичною моделлю, температурне поле харчового продукту змінюється за часом та неоднорідне вздовж просторової координати. Це поле можна представити таким аналітичним виразом, якщо температура нагрітого середовища підтримується постійною [5]:

$$T(r, z=0, \tau, T_{k1}) = 273 + (T_0 = 20) + (T_{k1} - (T_0 = 0)) \frac{4}{\pi \cdot R} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{(1 - (-1)^n) J_0(\alpha_m(r=0))}{n \cdot \alpha_m \cdot J_1(\alpha_m R)} \sin\left(\frac{n \cdot \pi}{h} \cdot (z=0)\right) \cdot e^{-\chi \left[ \alpha_m^2 + \left(\frac{n\pi}{h}\right)^2 \right] \tau} \quad (1)$$

де  $T_{k1}$  – температура нагрітого середовища, °С;  $T_0$  – початкова температура харчового продукту, °С;  $r$  – просторова координата, м;  $R$  – радіус харчового продукту, м;  $a$  – кое-

фіцієнт температуропровідності харчового продукту,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $J_0(\alpha_m \cdot r)$  – функція Беселя першого роду нульового порядку;  $\alpha_m$  – корні рівняння ( $J_0(\alpha \cdot R) = 0$ );  $J_1(\alpha_m \cdot r)$  – функція Беселя першого роду першого порядку;  $t$  – час, с.

Для визначення зміни концентрації вітаміну за рахунок термічного перетворення під дією теплової енергії використаємо відомий вираз, що характеризує швидкість проходження хімічних реакцій [6]:

$$\frac{dc}{dt} = -\kappa_0 \cdot \exp\left[-\frac{U}{R_r \cdot T(r,t)}\right] \cdot c, \quad (2)$$

де  $c$  – концентрація молекул вітаміну С,  $\text{м}^{-3}$ ;  $\kappa_0$  – коефіцієнт пропорційності,  $\text{с}^{-1}$ ;  $U$  – енергія активації,  $\text{Дж}/\text{моль}$ ;  $R_r$  – універсальна газова стала  $\text{Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ ;  $T(r,t)$  – температурне поле продукту,  $\text{К}$ ;  $r$  – просторова координата,  $\text{м}$ .

Для визначення зміни концентрації вітаміну за рахунок явища дифузії, обумовленого неоднорідністю концентрації, використаємо закон Фіка [7]:

$$j = -D \cdot \text{grad}c, \quad (3)$$

де  $j$  – густина потоку молекул вітаміну,  $\text{м}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ;  $D$  – коефіцієнт дифузії,  $\text{м}^2/\text{с}$ .

Згідно із законом збереження маси сумарна швидкість зміни концентрація молекул вітаміну С у харчовому продукті, яка обумовлена одночасно явищами дифузії та хімічним перетворенням, може бути представлена таким інтегральним рівнянням [3]:

$$\int_V \frac{\partial c}{\partial t} \cdot dv = \oint_S D \cdot \text{grad}_n c \cdot ds - \int_V \kappa_0 \cdot \exp\left[-\frac{U}{R_r \cdot T(r,t)}\right] \cdot c \cdot dv. \quad (4)$$

У рівнянні (4) інтеграл по поверхні  $S$  замінимо за допомогою формули Остроградського [8] на інтеграл по об'єму  $V$  і отримаємо диференціальне рівняння в циліндричній системі координат:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \cdot \left( \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial c}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 c}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \right) - \kappa_0 \cdot \exp\left[-\frac{U}{R_r \cdot T(r,t)}\right] c, \quad (5)$$

де  $r, \phi, z$  – координати в циліндричній системі.

Рішення рівняння (4) і (5) має задовольняти початковій і граничним умовам, сформульованим у фізичній моделі:

$$c = c_0 \text{ при } t = 0. \quad (6)$$

$$c = 0 \text{ при } r = R, z = h, z = 0. \quad (7)$$

Задача, що досліджується в цій роботі, є симетрична відносно вісі  $z$ , тому концентрація вітаміну та температурне поле у харчовому продукті за гідротермічної обробки змінюється вздовж координат  $r, z$  і за часом  $t$ . Із фізичної точки зору концентрація вітаміну С змінюється у харчовому продукті вздовж координат безперервно, тому її можна представити у вигляді суми [8]:

$$c(r, z, t) = c_{nm}(t) \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} J_0(\alpha_m \cdot r) \cdot \sin\left(\frac{n\pi}{h} \cdot z\right), \quad (8)$$

де  $c_{nm}(t)$  – коефіцієнт, який залежить лише від часу.

Підставимо вираз (8) у інтегральне рівняння (4) і виконаємо інтегрування в циліндричній системі координат. Отримаємо диференціальне рівняння для знаходження невідомого коефіцієнта  $c_{nm}(t)$  у такому вигляді:

$$\frac{dc_{nm}}{dt} = D \cdot b_{nm} \cdot c_{nm} - \kappa_o \cdot d_{nm} \cdot f(t) \cdot c_{nm}, \tag{9}$$

де

$$b_{nm} = \alpha_m^2 + \left( \frac{(2 \cdot n + 1) \cdot \pi}{h} \right)^2, \tag{10}$$

$$d_{nm} = \frac{\alpha_m \cdot (2 \cdot n + 1) \cdot \pi}{2 \cdot h \cdot R \cdot J_1(\alpha_m \cdot R)}, \tag{11}$$

$$f(t) = \int_0^R \int_0^h \exp\left( \frac{-U}{R_r \cdot T(r, z, t)} \right) J_o(\alpha_m r) \sin\left( \frac{n \cdot \pi}{h} z \right) \cdot 2\pi \cdot r dr dz. \tag{12}$$

Із системи рівнянь (6) і (9) отримаємо вираз для обчислення концентрації вітаміну С у харчовому продукті, що має геометричну форму циліндра, під час гідротермічної обробки в такому вигляді:

$$c = c_o \frac{8}{\pi R} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{J_o(\alpha_m r)}{(2n+1)\alpha_m J_1(\alpha_m R)} \sin\left( \frac{n\pi}{h} z \right) e^{-\left( D b_{nm} \tau + \kappa_o d_{nm} \int_0^{\tau} f(t) dt \right)}, \tag{13}$$

де  $\tau$  – тривалість гідротермічної обробки харчового продукту, що має геометричну форму циліндра, с.

Концентрації вітаміну С у харчовому продукті представлена сумою членів ряду. Ряд сходиться. Числовий аналіз виразу (13) показує, що кількісна величина членів ряду швидко зменшується зі збільшенням порядкового номера. Ще швидше зменшується величина членів ряду зі збільшенням тривалості обробки  $\tau$ . Похибка обчислення не перевищує 0,01 %, якщо  $n$  змінюється від 0 до 30,  $m$  – від 1 до 30 і  $\tau$  дорівнює 1 хв або більше.

Тривалість  $\tau$ , протягом якого картопля досягає кулінарної готовності при гідротермічній обробці, можна обчислити за допомогою інтегрального рівняння [2]:

$$\int_0^{t_1} \exp\left\{ -\frac{U}{R_r \cdot T(r, z = 0, \tau, T_{к1})} \right\} \cdot d\tau = \int_0^{\tau} \exp\left\{ -\frac{U}{R_r \cdot T(r = 0, \tau, T_{к})} \right\} \cdot d\tau, \tag{14}$$

де  $T_{к1}$  – температура обробки дослідного зразка харчового продукту до стадії кулінарної готовності;  $t_1$  – тривалість обробки дослідного зразка харчового продукту до стадії кулінарної готовності.

У цьому рівнянні зафіксовано, що температура навколишнього простору дорівнює 20 °С, а концентрація структурних зв'язків обчислюється в центрі харчового продукту.

Практичне значення для виробників і споживачів має середня величина концентрації вітаміну С у харчових продуктах, доведених до кулінарної готовності. Середнє значення концентрації вітаміну в харчовому продукті обчислюється відповідно до його визначення:

$$C_{cp} = \frac{1}{V} \int_V c(r, z, \tau) \cdot dV. \tag{15}$$

На рисунку наведені залежності зміни втрат середньої концентрації вітаміну С у картоплі за тривалістю гідротермічної обробки  $\tau$ , протягом якої вона набуває стану кулінарної готовності, від її лінійного розміру для різних геометричних форм: С1<sub>к</sub> – циліндр (R=20 мм, h = 2, 4, 6, ... 40 мм); С2<sub>к</sub> – куля (R = 2, 4, 6, ... 40 мм).

Результати аналізу зміни втрат концентрації вітаміну С проведені для таких численних значень параметрів:  $a=1,6 \cdot 10^{-7}$  м<sup>2</sup>/с [9];  $D=5 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>/с [7];  $U=10 \cdot 10^4$  Дж/моль [10];  $\ln(\kappa_0) = 24,2$ ;  $U1=2,2 \cdot 10^5$  Дж/моль [4];  $T_{к}=100$  °С;  $T_0=20$  °С.

Представлені на рисунку криві мають мінімуми. Це свідчить, що за гідротермічної обробки картоплі існує оптимальний її розмір, який залежить від геометричної форми зразка картоплі та її лінійних розмірів.

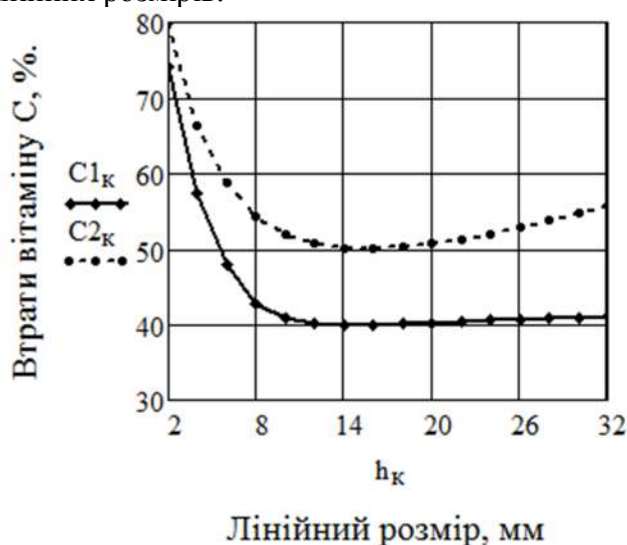


Рис. Залежність втрат вітаміну С від лінійного розміру картоплі за гідротермічної обробки

Наприклад, для картоплі, що має геометричну форму циліндра, радіус якого дорівнює 20 мм, мінімальні втрати середньої концентрації вітаміну ( $C_1=40\%$  відносно сирової картоплі) досягається за висоти циліндра, що дорівнює 16 мм. Для картоплі, що має геометричну форму кулі, мінімальні втрати середньої концентрації вітаміну ( $C=50\%$ ) досягається за радіуса, що дорівнює 14 мм. Температура гідротермічної обробки дорівнює  $100\text{ }^\circ\text{C}$ .

**Висновки і пропозиції.** Методом фізичного моделювання побудовано алгоритм обчислення втрат вітаміну С у харчовому продукті, який має геометричну форму циліндра, за рахунок дифузії та хімічних перетворень. Досліджено зміну втрат вітаміну С у картоплі, що має геометричну форму циліндра та кулі, від їх лінійних розмірів за рахунок явищ дифузії та хімічних перетворень при гідротермічній обробці. Встановлено, що за гідротермічної обробки картоплі до стану кулінарної готовності існує оптимальний лінійний розмір та температура, за яких в ній мають місце мінімальні втрати вітаміну С, що залежать від геометричної форми зразка. Область використання отриманих результатів досліджень визначається межами фізичних величин, в яких виконуються рівняння (1,2,3,6,7).

#### Список використаних джерел

1. *Технологія харчових продуктів функціонального призначення* : монографія / А. А. Мазаракі, М. І. Пересічний, М. Ф. Кравченко. [та ін.] ; за ред. М. І. Пересічного. – 2-ге вид., переробл. і доповн. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2012. – 1116 с.
2. *Мостова Л. М.* Моделювання впливу технологічних параметрів на термін термічної обробки харчових продуктів / Л. М. Мостова, Л. Г. Мартиненко, М. О. Комарова // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2014. – Вип. 1 (19). – С. 318–326.
3. *Розробка механізму моделювання зміни концентрації вітаміну С у харчовому продукті під час термічної обробки* / Л. М. Мостова, Л. Г. Мартиненко, М. О. Комарова, І. В. Галясний // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2013. – Ч. 1. – Вип. 1 (17). – С. 310–316.
4. *Мостова Л. М.* Моделювання впливу температури обробки на вміст вітаміну С в харчовому продукті / Л. М. Мостова, Л. Г. Мартиненко, М. О. Комарова // Харчова наука і технологія. – Одеса : ОНАХТ, 2013. – № 1 (22)\*. – С. 43–46.
5. *Карслоу Г.* Теплопроводность твёрдых тел / Г. Карслоу, Д. Егер. – М. : Наука, 1964. – 487 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Лебідь В. І. Фізична хімія / В. І. Лебідь. – Х. : Гімназія, 2008. – 478 с.
7. Василенко С. М. Основи тепломасообміну : підручник / С. М. Василенко, А. І. Українець, В. В. Олішевський ; за ред. акад. УААН І.С. Гулого. – К. : НУХТ, 2004. – 250 с.
8. Корн Г. А. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. М. Корн, Т. М. Корн. – М. : Наука, 1973. – 832 с.
9. Гинзбург А. С. Теплофизические характеристики картофеля, овощей и плодов / А. С. Гинзбург, М. А. Громов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 272 с.
10. Девис М. Витамин С. Химия и биохимия / М. Девис, Д. Патридж. – М. : Мир, 1999. – 463 с.

## References

1. Mazaraki, A.A., Peresichnyi, M.I. (ed.), Kravchenko, M.F. [et al.] (2012). *Tekhnolohiia kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia [The technology of food products of functional area]* (2<sup>nd</sup> ed., rev.). Kyiv: National University of Trade and Economics (in Ukrainian).
2. Mostova, L.M., Komarova, M.O., Martynenko, L.G. (2014). Modeliuvannia vplyvu tekhnolohichnykh parametriv na termin termichnoi obrobky kharchovykh produktiv [The modeling of the impact of technological parameters on the time of the heating of food products]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli – Advanced equipment and technology of food production of restaurant industry and trade*, issue 1 (19), pp. 318–326 (in Ukrainian).
3. Mostova, L.M., Martynenko, L.G., Komarova, M.O., Galiasnyi, I.V. (2013). Rozrobka mekhanizmu modeliuvannia zminy kontsentratsii vitaminu S u kharchovomu produkti pid chas termichnoi obrobky [Working out modelling mechanisms for vitamin C concentration in food products during thermal treatment]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli – Advanced equipment and technology of food production of restaurant industry and trade*, issue 1(17), part 1, pp. 310–316 (in Ukrainian).
4. Mostova, L.M., Martynenko, L.G., Komarova, M.O. (2013). Modeliuvannia vplyvu temperatury obrobky na vmist vitaminu S v kharchovomu produkti [Modelling treatment temperature effects on the vitamin C content in food products]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia – Food science and technology*. Odessa: ONAHT, № 1 (22)\*, pp. 43–46 (in Ukrainian).
5. Carslaw, H.S., Jaeger, J.C. (1964). *Teploprovodnost tverdykh tel [Conduction of heat in solids]*. Moscow: Nauka (in Russian).
6. Lebid, V.I. (2008). *Fyzychna khimiia [Physical Chemistry]*. Kharkiv: Gimnaziia (in Ukrainian).
7. Vasilenko, S.M., Ukrainets, A.I., Olishvskii, V.V., Gulyi, I.S. (ed.) (2014). *Osnovy teplomasoobminu [Basics of heat transfer]*. Kyiv: NUHT (in Ukrainian).
8. Korn, G.A., Korn, T.M. (1973). *Spravochnik po matematike dlja nauchnykh rabotnikov i inzhenerov [Mathematical handbook for scientists and engineers]*. Moscow: Nauka (in Russian).
9. Ginzburg, A.S., Gromov, M.A. (1987). *Teplofizicheskie kharakteristiki kartofelia, ovoshhei i plodov [Thermal physical characteristics of potatoes, vegetables and fruit]*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
10. Davies, V., Partidge, D. (1999). *Vitamin C. Khimiia i biokhimiia [Vitamin C. Its Chemistry and biochemistry]*. Moscow: Mir (in Russian).

*Liudmyla Mostova, Leonid Martynenko, Stanislav Kasyanov*

## INFLUENCE OF FOOD PRODUCT GEOMETRICAL FORM ON VITAMIN C LOSS IN THERMAL TREATMENT

**Urgency of the research.** The common method of food treatment (80%) is heat treatment. This method has such limitations as big power inputs, waste of elements required for human organism, developing carcinogenic agents etc.

**Target setting.** One way to solve these problems is to make modeling engines, new technologies and equipment for food product treatment, and making products, which satisfy human physiological requirements.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis of the latest published works shows that today we do not have developed mechanism for modeling vitamin C content changes in food products in a cylindrical form with the influence of thermal conductivity, diffusion, and chemical changes.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** It is a well-known fact that nutrition products may be of various geometric shapes such as a ball-shaped, cylinder, rectangle etc. Therefore while simulating vitamin C concentration change in a nutrition product during heat treating requires consideration of its geometric shape.

**The research objective.** The purpose of this work is to improve the mechanism for modeling the hydrothermal processing of potatoes, which has the geometric shape of a cylinder to reduce the loss of vitamin C in products.

**The statement of basic materials.** A differential extinction was built by the method of physical modeling, which describes vitamin C changes in the cylinder-shaped food product due to thermal conductivity, diffusion and chemical changes. We studied vitamin C changes in cylinder- and ball-shaped potatoes depending on their linear dimensions and the treatment temperature.

**Conclusions.** It is estimated that while preparing potatoes there exist optimal linear dimensions with minimal vitamin C losses. For example, in the cylinder-shaped potatoes with 20 mm radius, concentration mean rate of vitamin (C=60 % as compared to that of raw potatoes) is attained at the cylinder height of 14 mm. For ball-shaped potatoes, the maximum vitamin mean concentration (C=50 %) is achieved at the radius of 16 mm. The treatment temperature is 100 °C.

**Keywords:** modeling, food products, heating, vitamin C.

Людмила Мостовая, Леонид Мартыненко, Станислав Касьянов

## ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА НА ПОТЕРИ ВИТАМИНА С ПРИ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Тепловая обработки пищевых продуктов имеет недостатки: потери витаминов, создание канцерогенных веществ и прочее. Одним из путей решения указанных проблем может быть создание новых механизмов моделирования и технологий для обработки пищевых продуктов. Анализ последних исследований и публикаций показывает, что на сегодняшний день не разработан механизм моделирования изменения содержания витамина С в пищевом продукте, который имеет геометрическую форму цилиндра, под действием явлений теплопроводности, диффузии и химических превращений.

Методом физического моделирования построено дифференциальное уравнение, описывающее изменение витамина С в пищевом продукте, который имеет геометрическую форму цилиндра, за счет диффузии и химических превращений. Получено решение такого уравнения. Исследовано изменение концентрации витамина С в картофеле, что имеет геометрическую форму цилиндра и шара, от их линейных размеров. Установлено, что при гидротермической обработке картофеля до стадии кулинарной готовности существует оптимальный линейный размер, при котором в ней происходит минимальные потери витамина С.

**Ключевые слова:** моделирование; пищевые продукты; термическая обработка; витамин С.

**Мостова Людмила Николаївна** – кандидат технічних наук, доцент., завідувач кафедри харчових технологій та організації ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету (пров. О. Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

**Мостовая Людмила Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой пищевых технологий и организации ресторанного дела, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета (проул. О. Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

**Mostova Liudmyla** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technology and Planning of Restaurant Business, Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (8 O. Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** nastia5532@mail.ru

**Мартыненко Леонід Григорович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій та організації ресторанної справи, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету (пров. О. Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

**Мартыненко Леонид Григорьевич**, кандидат технических наук, доцент., доцент кафедры пищевых технологий и организации ресторанного дела, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета (проул. О. Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

**Martynenko Leonid** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology and Planning of Restaurant Business, Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (8 O. Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** leonid.martynenko@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4270-1505>

**Касьянов Станіслав Петрович** – магістр, Харківський торговельно-економічний інститут Київського Національного торговельно-економічного університету (пров. О. Яроша, 8, м. Харків, 61045, Україна).

**Касьянов Станислав Петрович** – магистр, Харьковский торгово-экономический институт Киевского Национального торгово-экономического университета (проул. О. Яроша, 8, г. Харьков, 61045, Украина).

**Kasyanov Stanislav** – master, Kharkiv Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics (8 O. Yarosh lane, 61045 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** stas-kasyanov@rambler.ru

*Вікторія Челябієва, Олена Семенюк, Марія Гаврик*  
**ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ  
У КОНДИТЕРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**Актуальність теми дослідження.** Розробка кондитерських виробів з використанням нетрадиційної рослинної сировини – перспективний інноваційний напрям розвитку кондитерської галузі.

**Постановка проблеми.** На вітчизняному ринку сьогодні переважно пропонуються кондитерські вироби, наприклад, кекси і карамель, які виготовлені за традиційною рецептурою і мають низький вміст важливих і цінних речовин, необхідних для повноцінного розвитку організму людини. Тому доцільно розробляти та впроваджувати у масове виробництво рецептури кексів та карамелі, збагачені необхідними для людини компонентами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою розробки кондитерських виробів підвищеної біологічної цінності науковці використовують різноманітну нетрадиційну для кондитерської галузі сировину – екстракт стевії, шрот насіння льону, порошок листя смородини чорної, порошок м'яти перцевої та листя волозького горіха, порошок квасолі, прополіс, порошок з яблучних вичавків від соку. Розроблені рецептури карамелі з використанням яблучного порошку, фітоекстрактів базилика, кориці, шавлії, гвоздики, спіруліни, шкірки та кісточок плодів гранату.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В літературі відсутня інформація відносно використання в якості нетрадиційної сировини порошку яблучних насінневих камер з насінням, які отримують як побічний продукт при виробництві яблучних чіпсів. Яблучні насіннини містять вітаміни С, В1, В2, В17, Р, Е, β-каротин, Калій, Ферум, Манган, Кальцій, Йод. Насінневі камери яблук багаті пектиновими речовинами.

**Постановка завдання.** За мету було поставлено розробити рецептуру кексу та льодяникової карамелі з використанням порошку яблучних насінневих камер з насінням, оцінити харчову і біологічну цінність запропонованих кондитерських виробів за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

**Виклад основного матеріалу.** Отриманий за запропонованою рецептурою кекс «Яблучний» містить 4,41 г водорозчинних пектинових речовин у 100 г виробу. Яблучний порошок вносили у рецептуру кексу, замінюючи ним певну частину борошна, крім того, у запропонованій рецептурі зменшений вміст цукру, завдяки заміні його цукрами яблучного порошку. За рахунок цих змін калорійність кексу «Яблучний» зменшилась у порівнянні з виготовленим за класичною рецептурою кексом «Столичний» на 11%.

Введення у рецептуру льодяникової карамелі порошку з яблучних насінневих камер дозволяє при дозуванні порошку 6 % отримати продукт з високими органолептичними показниками, збагачений макроелементами Кальцієм, Магнієм, Ферумом. Вміст Кальцію збільшується у 8 разів, вміст Феруму – у 8,2 рази, вміст Магнію – у 1,9 рази порівняно з карамеллю, виготовленою без додавання порошку.

**Висновки.** Виріб кекс «Яблучний», за вмістом пектину – продукт функціонального призначення із зниженою калорійністю. Рекомендується використання порошку з яблучних насінневих камер з насінням в кількості 10 % взаємін борошна у виробі з кексового тіста на хімічних розпушувачах.

Розроблена рецептура льодяникової карамелі з використанням порошку яблучних насінневих камер з насінням дозволяє розширити асортимент карамелі підвищеної харчової цінності і функціонального призначення.

Використання порошку з яблучних насінневих камер з насінням для збагачування кондитерських виробів можна рекомендувати для промислового впровадження.

**Ключові слова:** кекс; карамель; яблучний порошок; пектин; макроелементи.

**Актуальність теми дослідження.** Розробка кондитерських виробів з підвищеною харчовою цінністю та функціональними властивостями – сучасна тенденція у сфері харчування [1–3], а використання з цією метою нетрадиційної рослинної сировини – перспективний інноваційний напрям розвитку кондитерської галузі.

**Постановка проблеми.** У виробництві традиційних кексів набір сировини передбачає використання борошна пшеничного вищого сорту, яєць (меланжу), цукру білого, маргарину, ізюму, солі кухонної, розпушувачів. Традиційною сировиною для виготовлення карамелі є цукор-пісок та патока. Пшеничне борошно, рафінований цукор-пісок, патока під час виробництва втрачають значну частину своїх мінеральних речовин та вітамінів.

На вітчизняному ринку сьогодні переважно пропонуються кондитерські вироби, наприклад, кекси і карамель, які виготовлені за традиційною рецептурою і мають низький вміст важливих і цінних речовин, необхідних для повноцінного розвитку організму людини. Тому доцільно розробляти та впроваджувати у масове виробництво рецептури кексів та карамелі, збагачені необхідними для людини компонентами, що у свою чергу сприятиме підвищенню попиту споживачів на вітчизняні кондитерські вироби [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З метою розробки кондитерських виробів підвищеної харчової цінності науковці використовують різноманітну нетрадиційну для

кондитерської галузі сировину. Запропоновані рецептури кексів, збагачених екстрактом стевії та шротом насіння льону [5]; рецептури кексів [6–8] з використанням порошку листя смородини, порошоків м'яти перцевої і листя волоського горіха, порошку квасолі, прополісу, порошку з яблучних вичавків від соку [8]. Розроблені рецептури карамелі з використанням яблучного порошку [9], фітоекстрактів базилика, кориці, шавлії, гвоздики, спіруліни, шкірки та кісточок плодів граната [10; 11].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз публікацій показав, що активно досліджується питання використання нетрадиційної сировини у кондитерських виробках. У результаті проведеного аналізу також виявлено, що відсутня інформація відносно використання як нетрадиційної сировини порошку яблучних насінневих камер з насінням. Яблучні насінневі камери з насінням отримують як побічний продукт у процесі виробництва яблучних чіпсів [12]. Яблучні насіння містять вітаміни С, В1, В2, В17, Р, Е, β-каротин, калій, ферум, манган, кальцій, йод, пектини, цукор і органічні кислоти. Насінневі камери яблук багаті пектиновими речовинами.

**Мета статті.** За мету було поставлено розробити рецептуру (РЦ) кексу та льодяникової карамелі з використанням порошку яблучних насінневих камер з насінням, оцінити харчову і біологічну цінність запропонованих кондитерських виробів за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

**Виклад основного матеріалу.** На основі широко вживаної традиційної рецептури кексу «Столичного» розроблена рецептура кексу «Яблучний», яка містить борошно пшеничне вищого гатунку, цукор-пісок, масло вершкове, меланж, сіль, амоній вуглекислий, пудру рафінадну. На відміну від кексу «Столичний» не містить есенції, родзинок, а містить порошок яблучних насінневих камер з насінням.

Суттєвою ознакою кексу «Яблучний» є використання нетрадиційної сировини – яблучних насінневих камер з насінням. Внесення до складу кексу порошку яблучних насінневих камер з насінням дозволяє зменшити у рецептурі, порівняно з кексом «Столичний» вміст цукру-піску за рахунок вуглеводного комплексу порошку, забезпечити продукт пектином та покращити склад його вітамінно-мінерального комплексу; дозволяє не застосовувати штучну есенцію, оскільки внесений порошок надає готовому виробу приємний яблучний аромат та мигдальний відтінок смаку.

Насінневі камери яблук з насінням сушили при 60 °С до досягнення постійної маси, подрібнювали на електричному млині і отримували порошок. Як зазначено в [1] фруктові порошки можуть бути концентратами токсичних елементів, у тому числі таких небезпечних, як плумбум та кадмій. Тому в отриманому яблучному порошок передньо визначали вміст цих елементів. Яблучний порошок озолювали у двокамерній програваній печі мокрим способом. Потім у отриманій золі визначали вміст плумбуму та кадмію методом інверсійної вольтамперометрії, використовуючи аналізатор ТА-Lab. Пробу кожного зразка аналізували у трьох паралельних дослідах.

У зразках яблучного порошку вмісту плумбуму та кадмію не виявлено.

Кекс «Яблучний» готували у такій послідовності. Збивали розм'якшене вершкове масло протягом 7–10 хв, додавали цукор-пісок і збивали масу ще 5–7 хв, поступово вливаючи меланж. До збитої маси додавали амоній вуглекислий і сіль, ретельно перемішують, додавали борошно пшеничне вищого гатунку у суміші з порошком яблучних насінневих камер з насінням і замішували тісто. Тісто розкладали у форми, попередньо змащені маслом або вислані папером, випікали при 205–215 °С 25–30 хв. Випечені та охолоджені кекси посипали рафінадною пудрою.

Яблучний порошок вносили у кількості 3, 5 та 10 % від маси борошна, необхідної за рецептурою кексу «Столичний». Найкращі органолептичні показники мали кекси з добавкою 10 % яблучного порошку (табл. 1).



Таблиця 1

*Органолептична оцінка кексу «Яблучний»*

Показник	Доза яблучного порошку у рецептурі кексу «Яблучний»		
	3 %	5 %	10 %
Поверхня	не підгоріла	не підгоріла	не підгоріла
Колір	коричневий, верхня кірочка світло-коричнева	коричневий	темно-коричневий, м'якушка темна з яскраво-вираженою добавкою
Вид на розломі	добре пропечений без слідів непромісу, добавка рівномірно розподілена	добре пропечений без слідів непромісу, добавка рівномірно розподілена	добре пропечений без слідів непромісу, добавка рівномірно розподілена
Смак і запах	приємний, солодкий	приємний, солодкий	приємний, виражений смак та запах яблук, солодкий
Форма	правильна	правильна	правильна

Яблучні насінневі камери багаті пектиновими речовинами, тому в отриманому за запропонованою рецептурою кексі «Яблучний» визначали вміст розчинних пектинових речовин за пектатом кальцію [13]. За отриманими результатами розраховано, що 100 г кексу «Яблучний» містить 4,41 г водорозчинних пектинових речовин. Відомо, що добова профілактична доза пектину становить 2–4 г на добу, рекомендована корисна доза споживання пектину, яка істотно знижує показник холестерину у крові, становить 15 г на добу. Споживання 100 г кексу, виготовленого з додаванням 10 % порошку яблучних насінневих камер з насінням, забезпечує надходження до організму людини добової профілактичної дози пектину і 29 % рекомендованої добової корисної дози.

Як вже зазначалось, яблучний порошок вносили у рецептуру, замінюючи певну частину борошна, крім того, у запропонованій рецептурі, порівняно з кексом «Столичний», зменшений вміст цукру, завдяки заміні його цукрами яблучного порошку. За рахунок цих змін калорійність кексу «Яблучний» зменшилась у порівнянні з кексом «Столичний» на 11 %.

Відома рецептура льодяникової карамелі [14], яка містить цукор-пісок, профільтровану патоку, ароматизатор, ідентичний натуральному, штучний барвник. Недоліком цієї рецептури льодяникової карамелі є відсутність біологічної цінності готового продукту. Тому отриманий яблучний порошок також використали для розробки рецептури льодяникової карамелі.

Для приготування карамелі варили сироп на патоці з попереднім розчиненням цукру у воді. Цукор попередньо просіювали, завантажували у котел, добавляли воду в розрахунок 15 л на кожні 100 кг цукру. Цукровий сироп уварювали до вмісту вологи 13–15 % і додавали в нього профільтровану патоку. Кількість патоки становила 50 % за вагою від маси завантаженого цукру. Потім продовжували уварювання до досягнення температури 115–117 °С, що відповідає вологості 14–15 %. У приготований карамельний сироп додавали 10 % (РЦ 1), 6% (РЦ 2) яблучного порошку, 6 % яблучного порошку і 1 % лимонної кислоти (РЦ 3). Карамельний сироп продовжували уварювати до температури 125–130 °С, а потім охолоджували до 95 °С і розливали у форми.

Органолептичні та фізико-хімічні показники зазначених рецептур льодяникової карамелі наведені у таблицях 2, 3.

Таблиця 2

*Органолептичні показники отриманої льодяникової карамелі*

Показник	РЦ 1	РЦ 2	РЦ 3
Смак і запах	Властивий карамелі з присмаком яблучної сушеної сировини – схожий на яблучні козинаки	Властиві карамелі з легкими нотками яблука	Властиві карамелі з помітним присмаком кислоти, що підкреслює смак яблука
Колір	Рівномірний коричневий з вкрапленнями порошку	Рівномірний коричневий з малопомітними вкрапленнями порошку яблука	Рівномірний коричневий
Поверхня	Блискуча з рівномірними вкрапленнями яблучної сировини	Блискуча з рівномірними вкрапленнями яблучної сировини	Блискуча з рівномірними вкрапленнями яблучної сировини

Фізико-хімічні показники льодяникової карамелі

Показник	РЦ 1	РЦ 2	РЦ 3	ДСТУ 3893-2016
Вологість, %	3,5	4,0	2,5	Для карамельної маси, що виробляється на безвакуумному обладнанні – не більше 4
Кислотність, °	6,0	6,0	19,8	При введенні у рецептуру кислоти до 1 % – не менше 10°
Масова частка редукуючих речовин у карамельній масі, з введенням кислоти до 0,5 %	17,5	18,4	–	Масова частка редукуючих речовин у непідкисленій карамельній масі – не більше 20

За фізико-хімічними показниками льодяникова карамель, отримана за всіма рецептурами, відповідає ДСТУ 3893-2016. Однак за органолептичними показниками перевагу слід віддати рецептурі, в яку вводили 6 % яблучного порошку. Слід зазначити, що яблучний порошок додає кислотність карамельній масі, тому відсоток доданої кислоти (РЦ 3) доцільно варіювати від 0,5 до 1.

У льодяниковій карамелі, приготуваній з додаванням 6 % яблучного порошку (рецептура 2), визначали вміст макроелементів кальцію, магнію, феруму. Для порівняння використовували контрольний зразок карамелі, приготуваній без додавання яблучного порошку.

Для проведення визначення зразки льодяникової карамелі озолювали сухим способом у муфельній печі. Отриману золу розчинили у дистильованій воді. Сумарний вміст кальцію та магнію визначали методом зворотного комплексометричного титрування отриманого розчину. Принцип методу аналізу заснований на додаванні до досліджуваного розчину великої кількості розчину трилону Б для комплексоутворення з подальшим відтитруванням його надлишку розчином магнію сульфату в присутності індикатора хром темно-синій (еріохром чорний). Вміст Кальцію визначали зворотним комплексометричним титруванням у присутності індикатора мурексиду. Вміст магнію визначали за різницею між сумарним вмістом кальцію і магнію та вмістом кальцію. Титрування виконували мікробюретками. Вміст Феруму визначали фотоелектроколориметричним методом (фотометр КФК-3).

Результати досліджень наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Вміст макроелементів у льодяниковій карамелі, мг на 100 г продукту

Елемент	Контрольний зразок карамелі	Зразок карамелі за РЦ 2
Са, мг	10,0	80,0
Mg, мг	3,2	6,0
Fe, мг	1,7	14,0

Патока – інгредієнт льодяникової карамелі – продукт, який містить у своєму складі мінеральні речовини (мг/100 г): калій – 29, фосфор – 48, натрій – 80, кальцій – 25, магній – 13 та ферум – 1,2 [15]. Введення у рецептуру льодяникової карамелі порошку з яблучних насінневих камер дозволяє при дозуванні порошку 6 % отримати продукт з високими органолептичними показниками, збагачений макроелементами кальцієм, магнієм, ферумом. Вміст кальцію (табл. 4) збільшується у 8,0 разів, вміст феруму – у 8,2 разу, вміст магнію – у 1,9 разу. 5 г карамелі, виготовленої за рецептурою 2, містить кальцію стільки, скільки його міститься в 50 мл яблучного соку. 10 г карамелі на 10 % задовольняє рекомендовану добову дозу споживання феруму.

**Висновки відповідно до статті.** Виріб кекс «Яблучний», за вмістом пектину – продукт функціонального призначення зі зниженою калорійністю. Рекомендується використання порошку з яблучних насінневих камер з насінням у кількості 10 % замість борошна у виробі з кексового тіста на хімічних розпушувачах.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Розроблена рецептура льодяникової карамелі з використанням порошку яблучних насінневих камер з насінням дозволяє розширити асортимент карамелі підвищеної харчової цінності і функціонального призначення.

Використання порошку з яблучних насінневих камер з насінням для збагачування кондитерських виробів можна рекомендувати для промислового впровадження.

**Список використаних джерел**

1. *Челябиева В.* О безопасности использования фруктово-ягодного сырья в пищевой промышленности / В. Челябинова, М. Гаврик, А. Литвиненко // *Технічні науки та технології*. – 2016. – № 3 (5). – С. 224–230.
2. *Пилат Т. Л.* Биологически активные добавки к пище (теория, производство, применение) / Т. Л. Пилат, А. А. Иванов. – М. : Аввалон, 2002. – 710 с.
3. *Бакулина О. Н.* Развитие пищевых технологий: использование растительных экстрактов / О. Н. Бакулина // *Пищевая промышленность*. – 2007. – № 5. – С. 32–33.
4. Решетнікова І. Л. Інноваційні товарні стратегії як засіб забезпечення конкурентоспроможності підприємств на ринку / І. Л. Решетнікова // *Механізм регулювання економіки*. – 2008. – № 3, т. 1. – С. 167–173.
5. *Вінк А. В.* Розроблення рецептури кексів, збагачених екстрактом стевії та шротом насіння льону / А. В. Вінк, Н. О. Стеценко // *Актуальні питання науки і техніки у XXI столітті. Природничі та медичні науки, технічні і математичні науки : науковий форум : зб. матер. Міжнародної науково-практичної конференції (28 травня 2014 р., Київ)*. – К. : Центр Науково-практичних Студій, 2014. – С. 159–165.
6. *Лозова Т. М.* Вплив рецептурних інгредієнтів на поліпшення мінерального складу нових кексів / Т. М. Лозова // *Продовольча індустрія*. – 2012. – № 3. – С. 22–24.
7. *Патент 65758 (UA)* Склад кексу “міцний горішок” / Ковальчук Х. І., Сирохман І. В., Лозова Т. М. ; власник Ковальчук Х. І., Сирохман І. В., Лозова Т. М. – № u201107466 ; заявл. 14.06.2011 ; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23.
8. *Патент 2411731C1 (RU)* Способ приготовления кексов с фруктовыми и овощными порошками из выжимок от соков прямого отжима / Перфилова О. В., Скрипников Ю. Г., Винницкая В. Ф. ; правообладатель ФГОУ ВПО «Мичуринский государственный аграрный университет». – № RU2009127197A ; заявл. 14. 07.2009 ; опубл. 20.02.2011.
9. *Шульга О. С.* Яблучний порошок як добавка для підвищення харчової цінності карамелі / О. С. Шульга, Т. В. Каменчук, С. І. Шульга // *Ukrainian Food Journal*. – 2012. – Vol. 1, Is. 2. – Pp. 59–61.
10. *Іоргачова К. Г.* Удосконалення технологій збивних кондитерських мас / К. Г. Іоргачова, С. І. Банова // *Наукові праці ОДАХТ*. – Одеса, 2002. – Вип. 22. – С. 8–11.
11. *Савченко О. М.* Перспективність використання фітоекстрактів у виробництві льодяникової карамелі / О. М. Савченко, О. І. Сиза, М. В. Гаврик // *Прогресивні техніки та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. – 2016. – Вип. (24). – С. 299–311.
12. *Патент 73160 (UA)* Спосіб виробництва яблучних чипсів / Снежкін Ю. Ф., Шапар Р. О., Гусарова О. В. ; власник Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України. – № u201203590 ; заявл. 26.03.2012 ; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 17.
13. *Дробот В. І.* Технологія галузі хлібопекарського виробництва / В. І. Дробот, Т. О. Степаненко. – К. : НУХТ, 2006. – 267 с.
14. *Герасимова І. В.* Технология карамели / И. В. Герасимова. – М. : Агропромиздат, 1988. – 308 с.
15. *Инновационный способ производства карамели без сахара* / Г. О. Магомедов, И. В. Плотникова, Н. П. Зацепилина, И. В. Мызина // *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*. – 2016. – № 2. – С. 26–35.

**References**

1. Cheliabiieva, V., Semenyuk, H., Navryk, M (2016). O bezopasnosti ispol'zovanii fruktovo-yagodnogo syr'ja v pishhevoj promyshlennosti [On the safety of the use of fruit and berry raw materials in the food industry]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Engineering and Technology*, no. 3, pp. 224–230 (in Ukrainian).

2. Pilat, T.L. (2002). *Biologicheski aktivnye dobavki k pishhe (teorija, proizvodstvo, primenenie)* [Biologically active food additives (theory, production, application)]. Moscow: Avvalon (in Russian).
3. Bakulina, O.N. (2007). Razvitye pyshhevyh tehnolohyj: yspolzovanye rastytelnyh ekstraktov [Development of food technologies: the use of plant extracts]. *Pishhevaja promyshlennost' – Food Industry*, no. 5, pp. 32-33 (in Russian).
4. Reshetnikova, I.L. (2008). Innovatsiini tovarni stratehii yak zasib zabezpechennia konkurentospromozhnosti pidpriemstv na rynku [Innovative product strategies as a means of enterprise competitiveness in the market]. *Mexanizm reguluvannya ekonomiky – Mechanism of regulation of the economy*, no. 3, vol. 1, pp. 167–173 (in Ukrainian).
5. Vink, A.V., Stecenko, N.O. (2014). Rozroblennya retseptury keksiv, zbahachenykh ekstraktom stevii ta shrotom nasinnia lonu [Developing recipes cakes enriched Stevia extract and flax seed meal]. Proceedings from *Aktualni pytannia nauky i tekhniky u XXI stolitti. Pryrodnychi ta medychni nauky, texnichni i matematychni nauky – Current issues of science and technology in the twenty-first century. Natural and medical sciences, engineering and mathematics* (Kyiv, 28 May, 2014). Kyiv: Tsentr Naukovo-praktychnykh Studii, pp. 159–165 (in Ukrainian).
6. Lozova, T.M.(2012). Vplyv recepturnykh inhrediiientiv na polipshennia mineralnogo skladu novykh keksiv [The influence of prescription ingredients to improve the mineral composition of the new cupcakes]. *Prodovolcha industriia – Food industry*, no. 3, pp. 22–24 (in Ukrainian).
7. Kovalchuk, Kh.I., Syrokhman, I.V., Lozova, T.M. (2011). *Sklad keksu “mitsnyi horishok”* [Composition cake “Die Hard”]. Patent UA No. 65758.
8. Perfilova, O.V., Skripnikov, Ju.G., Vinnitskaia, V.F. (2011). *Sposob prihotovleniia keksov s fruktovyimi i ovoshhnymi poroshkami iz vyzhimok ot sokov priamogo otzhima* [A method of preparing cupcakes with fruit and vegetable powders from the extracts from juice from direct pressing]. Patent RU No. 2009127197A.
9. Shulha, O.S., Kamenchuk, T.V., Shulha, S.I. (2012). Yabluchnyi poroshok yak dobavka dlia pidvyschennia kharchovoi tsinnosti karameli [Apple powder as an additive to improve the nutritional value of caramel]. *Ukrainian Food Journal – Ukrainian Food Journal*, vol. 1, Is. 2, pp. 59–61 (in Ukrainian).
10. Iorhachova, K.G., Banova, S.I. (2002). Udoskonalennia tekhnolohii zbyvnykh kondyterskykh mas [Improvement technology whipped confectionary mass]. *Naukovi pratsi ODAHT – Research papers ODAHT*, no. 22, pp. 8–11 (in Ukrainian).
11. Savchenko, O.M., Syza, O.I., Gavryk, M.V. (2016). Perspektyvnist vykorystannia fitoekstraktiv u vyrobnytstvi lodianykovoi karameli [Prospects Phytoextracts use in the production of lollipop]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli – Progressive technique and technology of food production and restaurant industry trade*, Is. 24, pp. 299–311 (in Ukrainian).
12. Snyezhkin, Yu.F., Shapar, R.O., Gusarova, O.V. (2012). *Sposib vyrobnytstva yabluchnykh chypsyv* [The method of production of apple chips]. Patent UA No. 73160.
13. Drobot, V.I., Stepanenko, T.O. (2006). *Tekhnolohiia haluzi khlibopekarskoho vyrobnytstva* [The technology sector bakery production]. Kyiv: NUXT (in Ukrainian).
14. Gerasimova, I.V. (1988). *Tekhnolohiia karameli* [Technology of caramel]. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
15. Magomedov, G.O., Plotnikova, I.V., Zacepilina, N.P. & Myzina, I.V. (2016) Innovatsionnyi sposob proizvodstva karameli bez sakhara [Innovative way to produce caramel without sugar]. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvaiushchei promyshlennosti APK-produkty zdorovogo pitaniia – Technologies of food and processing industry. AIC-products of healthy nutrition*, no. 2, pp. 26–35 (in Russian).

Viktoriia Cheliabiieva, Helena Semenyuk, Maryia Havryk

## USE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS IN CONFECTIONERY PRODUCTION

**Urgency of the research.** The production of confectionery products using non-traditional plant raw materials is a promising innovation trend in the development of the confectionery industry.

**Target setting.** On the domestic market today, mainly confectionery products offered, for example, muffins and caramels, prepared according to the traditional recipe and have a low content of valuable substances necessary for the full development of the human body. Therefore, it is advisable to develop and introduce into the mass production recipes for cakes and caramels enriched with the components necessary for human beings.

**Actual scientific researches and issues analysis.** For the preparation of confectionery products with high biological value, scientists use a variety of non-traditional raw materials for the confectionery industry: stevia extract, flaxseed flour, black currant powder, peppermint and walnut leaves, bean powder and bee glue. Formulations of caramel with the use of apple powder, extracts of basil, cinnamon, sage, cloves, spirulina, skin and pomegranate seeds have been developed.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In the literature, there is no information on the use of powder from an apple bone, which obtained as a by-product in the production of apple chips. Apple seeds contain vitamins C, B1, B2, B17, P, E,  $\beta$ -carotene, potassium, iron, manganese, calcium and iodine. Seed chambers of apples are rich in pectin substances.

**The research objective.** The task is to develop a cake and caramel recipe using of powder from an apple bone, assess the nutritional and biological value of the proposed confectionery products by organoleptic and physicochemical parameters.

**The statement of basic materials.** Cupcake "Apple" prepared according to the proposed recipe contains 4.41 g of water-soluble pectin substances in 100 g of the product. The apple powder added to the recipes of the cupcake, replacing a certain part of the flour, in addition, the sugar content in the proposed recipe reduced by replacing it with sugars of apple powder. Due to these changes, the calorie content of the Apple cake decreased by 11% compared to the cupcake of the classic "Stolichny" formula.

The introduction of powder from an apple bone into the formula of caramel makes it possible to obtain a product with high organoleptic characteristics, enriched with elements of calcium, magnesium, iron. The calcium content increases 8.0 times, the iron content 8.2 times, the magnesium content 1.9 times as compared with a product prepared without the addition of powder.

**Conclusions.** Replacing part of flour on of powder from an apple bone and reducing the amount of sugar in the recipe in the production of cupcakes with the use of chemical disintegrants allows to reduce the calories of cakes and enrich them with pectin. Consumption of 100 g of cake with the addition of 10% of powder from an apple bone ensures the daily intake of a prophylactic dose of pectin in the human body.

The developed recipe of the caramel with of powder from an apple bone allows expanding the assortment of caramel of increased nutritional value and functional purpose.

The use of apple bone powder to enrich confectionery products to recommended for industrial introduction.

**Key words:** cake, caramel, apple powder, pectin, macronutrients.

Викторія Челябієва, Елена Семенюк, Марія Гаврик

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО СЫРЬЯ В КОНДИТЕРСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Предложены рецепты кекса и леденцовой карамели с добавлением порошка, полученного из яблочных семенных камер с семенами. Лучшие органолептические показатели достигаются при замене в рецептуре кекса 10 % муки на яблочный порошок и при добавлении 6 % яблочного порошка в рецептуру карамели. Содержание пектиновых веществ в кексе, приготовленном по предложенной рецептуре, составляет 4,41 г на 100 г продукта. Содержание макроэлементов кальция и железа в карамели составляет соответственно 80 мг и 14 мг на 100 г. Полученные данные позволяют позиционировать изделия, полученные по разработанной рецептуре, как изделия оздоровительного назначения.

**Ключевые слова:** кекс; карамель; яблочный порошок; пектин; макроэлементы.

**Челябієва Вікторія Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Челябієва Вікторія Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Cheliabiieva Viktoriia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vika.chl@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5364-4633>

**ResearcherID:** F-7305-2014

**Scopus Author ID:** 6505851894

**Семенюк Елена Юрійвна** – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Семенюк Елена Юрьевна** – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Semenyuk Helena** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** helen030294@gmail.com

**Гаврик Марія Валерійвна** – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Гаврик Мария Валериевна** – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Havryk Maryia** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** gavrik\_1997@list.ru

УДК 663.2:612.86/87:663.12

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-202-208

Олена Бойчук, Вікторія Тарасова, Ніна Мулюкіна

**ВПЛИВ АВТОХТОННИХ ДРІЖДЖІВ НА ВМІСТ ФЕНОЛЬНИХ СПОЛУК У ЧЕРВОНИХ СТОЛОВИХ ВИНОМАТЕРІАЛАХ**

**Актуальність теми дослідження.** Вчені виноградарських країн світу приділили велику увагу дослідженню автохтонних штамів винних дріжджів, в тому числі механізму їхнього впливу на фенольний склад вин. Проте в Україні це питання практично не досліджено, хоча увага до якості локальних вин України робить актуальним дослідження автохтонних штамів винних дріжджів.

**Постановка проблеми.** Колір вин обумовлений присутністю у ньому фенольних речовин і меланоїдинів. З фенольних сполук забарвлення вина надають: флавоноли і флавоноли (жовтий колір), антоціани (різноманітні відтінки синього і фіолетового кольорів); лейкоантоціани (лабільні, тому, легко окислюючись і полімеризуючись, обумовлюють зміну кольору червоних вин при дозріванні). Технологія червоних вин направлена на вилучення зі структурних елементів виноградної грони необхідної кількості цих з'єднань. Штами винних дріжджів впливають саме на процеси вилучення, тому необхідно дослідити, в якій мірі вони спроможні вплинути на ці процеси у відношенні до фенольних та барвних речовин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі проведено аналіз літературних даних щодо механізму взаємодії фенольного комплексу винограду та вина з дріжджами. Значення винних дріжджів у формуванні кольору червоного вина має два аспекти. З одного боку, винні дріжджі впливають на вилучення із винограду антоціанів під час мацерації і ферментації, в залежності від здатності до утворення спирту. Вони також впливають на формування більш стійких форм антоціанів в процесі дозрівання і старіння вин. З іншого боку, дріжджі можуть сприяти деградації антоціанів і брати участь в деяких взаємодіях з пігментами, які призводять до втрати кольору.

**Постановка завдання.** Метою дослідження було визначення особливостей фенольного складу вин Каберне-Совіньйон, Одеський жемчуг, Чарівний, Агат таїровський, Отрада, отриманих в умовах мікровиноробства з використанням автохтонних штамів винних дріжджів.

**Викладення основного матеріалу.** На основі хімічного аналізу 30 зразків вин, отриманих бродінням на спонтанній мікрофлорі та на 5 штамів автохтонних дріжджів Y-3645; Y-3648; Y-3647; Y-3649; Y-3646 оцінено їх фенольний склад та визначено штам, застосування якого забезпечує краще вилучення фенольних та барвних речовин.

**Висновки відповідно до статті.** Визначено оптимальні умови бродіння, встановлено, що штам дріжджів Y-3647 забезпечує краще вилучення фенольних та барвних речовин.

**Ключові слова:** автохтонні штами дріжджів; фенольні та барвні сполуки; червоні столові винома матеріали.

**Постановка проблеми.** Технологія червоних вин спрямована на вилучення зі структурних елементів виноградної грони необхідної кількості сполук, що відповідають за смак, забарвлення, аромат вин та збереження їх на всіх стадіях виробництва [1]. Тип і кількість фенольних сполук відіграють важливу роль у якості вина. Антоціани, флавоноли, катехіни та інші флавоноїди сприяють формуванню таких сенсорних характеристик вина, як колір і терпкість. Крім того, вони володіють широким спектром фармакологічних властивостей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Колір вин обумовлений наявністю у ньому фенольних речовин і меланоїдинів. З фенольних сполук забарвлення вина надають: флавоноли й флавоноли (жовтий колір), антоціани (різноманітні відтінки синього і фіолетового кольорів); лейкоантоціани (лабільні, тому, легко окислюючись і полімеризуючись, обумовлюють зміну кольору червоних вин при витримці) [2]. Відомо, що фенольні речовини містяться переважно у твердих частинах грони – насінні, шкірці, гребенях. Тому, технології червоних вин спрямовані на вивільнення та перехід цих речовин у винома матеріали.

Значення винних дріжджів у формуванні кольору червоного вина характеризують такі два аспекти. З одного боку, винні дріжджі впливають на вилучення із винограду антоціанів під час мацерації і ферментації, залежно від здатності до утворення спирту. Вони також впливають на формування більш стійких форм антоціанів у процесі витримки і старіння вин. З іншого боку, дріжджі можуть сприяти деградації антоціанів і беруть участь в деяких взаємодіях з пігментами, що призводять до втрати кольору [3].

*Saccharomyces cerevisiae* – винні дріжджі, що характеризуються наявністю пектинази (полігалактуронази). Ці ферменти активуються на початковій стадії ферментації, каталізують гідроліз пектинів шкірки та сприяють екстракції антоціанів [4; 5; 6]. Дослідження впливу виділених штамів дріжджів на основні параметри вин, зокрема, проводили болгарські дослідники Ф. Ільєва та ін. (2013). У результаті було доведено, що різні штами *Saccharomyces cerevisiae* можуть впливати на екстракцію поліфенолів винограду у вино [7].

Вторинні метаболіти дріжджів беруть участь у формуванні антоціанових комплексів. Ацетальдегід опосередковує реакцію конденсації між глюкозидом мальвідину і катехіном, що сприяє більшій стабільності кольору щодо рН і знебарвлюючої дії  $\text{SO}_2$  [8; 9]. Разом з іншими метаболітами, яким властива кетоенольна таутомерія, такими як піровиноградна кислота, ацетон і ацетальдегід також беруть участь у циклоприєднанні антоціанів класу  $\text{C}_4\text{-C}_5$  з утворенням пірантоціанів [9; 10; 11]. У присутності оцтового альдегіду відбувається конденсація антоціанів [12]. У дослідженнях М. Монагас (2006) виявлено залежність вмісту деяких речовин від штаму дріжджів, особливо дельфінідин-3-глікозиду [3].

Оскільки колір вин нероздільно пов'язаний із вмістом барвних речовин, використання штамів дріжджів можна розглядати як технологічний прийом покращення забарвлення вин. У роботі А. Каріді зі співавторами (2004) проведено дослідження, яке доводить цю залежність [13].

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є дослідження впливу автохтонних штамів дріжджів на вміст фенольних сполук у червоних столових виноматеріалах.

Об'єктом дослідження були виноматеріали, отримані при переробці сорту винограду Каберне-Совіньйон та селекційних форм Одеський жемчуг, Чарівний, Агат таїровський, Отрада.

**Матеріали і методи досліджень.** У період сезонів виноробства 2015–2016 рр. виноград сортів Каберне-Совіньйон та селекційних форм Одеський жемчуг, Чарівний, Агат таїровський, Отрада був зібраний при повній технічній зрілості. Бродіння м'язги проводили за класичною схемою з використанням автохтонних штамів дріжджів та на спонтанній мікрофлорі (контроль).

Виноград подрібнювали з відділенням гребенів. М'язгу сульфитували з розрахунку загального вмісту сірчистої кислоти  $75\text{-}100\text{ мг/дм}^3$ . М'язгу зброджували у відкритих ємностях з плаваючою «шапкою» з додаванням 3 % активної розводки дріжджів різних штамів. З метою кращого вилучення фенольних і барвних речовин «шапку» м'язги перемішували чотири рази на добу.

Після закінчення ферментації (масова концентрація цукрів, згідно з ДСТУ 4112.3, не більше  $3,0\text{ г/дм}^3$ ) і освітлення, виноматеріали знімали з осаду (перша переливка), після чого зберігали в заповнених доверху ємностях.

Визначення масової концентрації фенольних та барвних речовин проводили колоиметричним методом [14; 15].

Визначення інтенсивності кольору та його відтінку проводили розрахунковим методом за допомогою фотоелектроколориметра, який дозволяє фіксувати величину пропускання світла при довжині хвилі 420 та 520 нм. Показник інтенсивності (I) визначали як суму показників оптичної густини (D) при даних довжинах хвилі; відтінок кольору (T) – співвідношенням  $D_{420} / D_{520}$  [14].

**Виклад основного матеріалу.** Встановлено, що масова концентрація фенольних сполук (ФС) у виноматеріалах сорту Каберне-Совіньйон коливається в межах  $764,9\text{-}940,5\text{ мг/дм}^3$  (рис. 1). Рекомендований діапазон масової концентрації фенольних речовин для столових червоних вин становить  $1000\text{-}2000\text{ мг/дм}^3$ . Проте на основі досліджень [16; 17] можна стверджувати про високу якість червоних вин з меншим вмістом фенольних речовин. Найвище значення концентрації фенольних речовин у виноматеріалах виявлено за умов спонтанного бродіння  $940,5\text{ мг/дм}^3$ . Для контрольного зразка (спонтанне бродіння) характерно високе вилучення фенольних речовин, але досить низьке – барвних речовин. Серед досліджуваних штамів дріжджів найбільш високим ступенем вилучення фенольних сполук характеризуються дріжджі штаму Y-3645 ( $902\text{ мг/дм}^3$ ), а найбільш низьким – дріжджі штаму Y-3649 ( $784,6\text{ мг/дм}^3$ ). При цьому частка барвних речовин становить від 29 % (спонтанне бродіння) до 40 % (штам Y-3646) від масової концентрації загальних фенольних речовин.

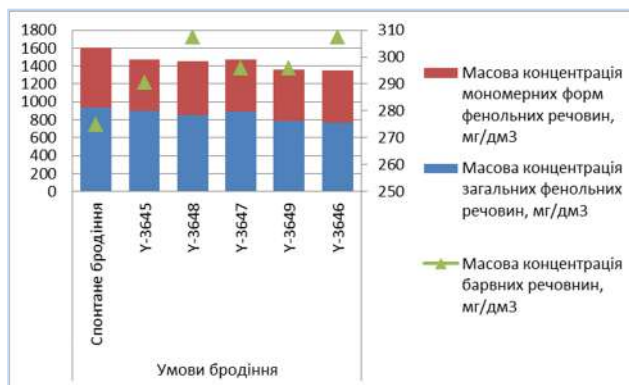


Рис. 1. Вміст фенольних сполук у контрольних зразках виноматеріалів Каберне-Совіньйон залежно від умов бродіння

Вміст фенольних речовин залежно від умов бродіння у виноматеріалах із винограду сортів селекції «ННЦ «ІВіВ ім. В. Є. Таїрова» наведено у таблиці.

Таблиця

Вміст фенольних речовин у виноматеріалах із винограду сортів селекції «ННЦ «ІВіВ ім. В. Є. Таїрова» врожаю 2015 року, залежно від умов бродіння

№ п/п	Спосіб бродіння	Масова концентрація, мг/дм <sup>3</sup>		
		загальних фенольних речовин	мономерних форм фенольних речовин	барвних речовин
Одеський жемчуг				
2.	Спонтанне бродіння	987,2	686,9	380,4
3.	Y-3645	883,3	653,7	306,4
4.	Y-3648	994,5	675,5	348,8
5.	Y-3647	985,4	824,3	390,9
6.	Y-3649	969,9	759,2	348,4
7.	Y-3646	1047,4	710,5	306,4
Чарівний				
9.	Спонтанне бродіння	755,1	432,8	343,4
10.	Y-3645	799,5	619,3	381,5
11.	Y-3648	694,1	516,5	290,6
12.	Y-3647	832,5	616,6	369,8
13.	Y-3649	820,1	632,1	391
14.	Y-3646	752,9	474,1	318,1
Агат таїровський				
16.	Спонтанне бродіння	780,4	642,2	285,3
17.	Y-3645	683,8	577,8	275,8
18.	Y-3648	865,7	587,2	274,7
19.	Y-3647	853,2	628,7	327,6
20.	Y-3649	899,9	500,9	253,6
21.	Y-3646	812,7	555,9	221,9
Отрада				
23.	Спонтанне бродіння	809,5	670,3	286,4
24.	Y-3645	748,2	629,8	338,1
25.	Y-3648	783,6	639,1	235,9
26.	Y-3647	781,5	655,7	369,8
27.	Y-3649	749,3	605,9	295,9
28.	Y-3646	795	629,8	301,2

З табл. 1 видно, що залежність вмісту фенольних сполук від умов бродіння простежуються і на формах винограду селекції ННЦ «ІВіВ ім. В. Є. Таїрова». Для виноматеріалу, виготовленого з винограду селекційної форми Одеський жемчуг, найбільша концентрація фенольних сполук становила 1047,4 мг/дм<sup>3</sup>, дріжджі штаму Y-3646. При цьому у такому зразку вилучення фенольних сполук на 11 % більше, ніж у контрольному зразку (спонтанному бродінні). Виноматеріали Чарівний, Агат таїровський та Отрада мають ко-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

жен свій спосіб бродіння для досягнення максимального накопичення фенольних речовин – дріжджі Y-3647, Y-3649 та спонтанне бродіння відповідно. При цьому щодо контрольних зразків для цих виноматеріалів екстракція ФС краща на 9,3 % (Чарівний) та 13 % (Агат таїровський). Тоді як для виноматеріалу Отрада відмінність між спонтанним бродінням та дріжджами штаму Y-3646 є несуттєвою. Колір вин та його інтенсивність залежить від вмісту барвних сполук (БС) у вині. Тому необхідно враховувати не лише загальний вміст ФС, а й вилучення БС щодо нього. Штам винних дріжджів Y-3647 є найбільш ефективним з погляду вилучення БС з винограду. Він дає найвищі результати для 2 форм винограду з п'яти, а саме: Одеський жемчуг (47 %) та Отрада (47 %), коли при спонтанному бродінні ці значення для виноматеріалу Отрада на 10 % менше. Для форм селекції винограду Чарівний та Агат таїровський найкращим вилученням БС відносно ФС – 47 та 40 %, дріжджі штаму Y-3645 (контрольні значення менші на 2–4 %). Враховуючи співвідношення загальних фенольних речовин до барвних знайдено оптимальні дріжджові культури – штам дріжджів Y-3647 із середнім вилученням БС 39 %.

Залежність інтенсивності та відтінку кольору від вмісту барвних сполук наведено на рис. 2 для виноматеріалу Каберне-Совіньйон. На рис. 2 простежується пряма залежність оптичних показників від масової концентрації барвних сполук у виноматеріалі. Порівняно зі спонтанним бродінням чисті культури дріжджів мають вищі значення інтенсивності та відтінку кольору вин. Найбільший вміст БС характеризуються для виноматеріалів, отриманих бродінням на штаммах дріжджів Y-3646 та Y-3648 з масовими концентраціями БС 307,5 мг/дм<sup>3</sup>, що зумовлює більшу інтенсивність та відтінок кольору. При цьому більша інтенсивність кольору саме у виноматеріалів Каберне-Совіньйон (Y-3648), що можна пояснити більшою масовою концентрацією ФС ніж у Каберне-Совіньйон (Y-3646).

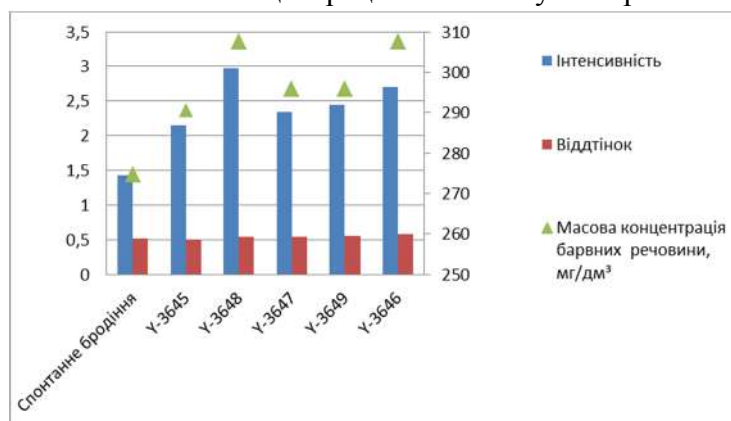


Рис. 2. Інтенсивність та відтінок кольору червоних столових виноматеріалів Каберне-Совіньйон, отриманих у результаті бродіння м'язги на різних штаммах винних дріжджів

**Висновки і перспективи.** Проведеними дослідженнями продемонстровано залежність вмісту фенольних та барвних сполук у виноматеріалах від штаму дріжджів. Показано, що вибір дріжджової культури доцільно робити, враховуючи співвідношення вилучення загальних фенольних та барвних речовин. Встановлено пряму залежність оптичних характеристик вин від вмісту барвних речовин у виноматеріалах.

Штам винних дріжджів Y-3647 є найбільш ефективним з погляду вилучення БС з винограду для 2 форм винограду з п'яти, а саме: Одеський жемчуг (47 %) та Отрада (47 %). Для форм селекції винограду Чарівний та Агат таїровський найкращим вилученням БС щодо ФС (47 та 40 % відповідно), характеризується штам дріжджів Y-3645. Для максимального вилучення фенольних та барвних сполук з ягід винограду рекомендовано використовувати дріжджі штаму Y-3647.

#### Список використаних джерел

1. Валуїко Г. Г. Биохимия и технология красных вин / Г. Г. Валуїко. – К. : Пищевая промышленность, 1973. – 296 с.

2. Маркосов В. А. Биохимия, технология и медико-биологические особенности красных вин / В. А. Маркосов, Н. А. Агеева. – К. : Краснодар, 2008. – 224 с.
3. Monagas, M. Gomez-Cordoves, C. Bartolome, B. Evaluation of different *Saccharomyces cerevisiae* strains for red winemaking. Influence on the anthocyanin, pyranoanthocyanin and non-anthocyanin phenolic content and colour characteristics of wines / Monagas, M. Gomez-Cordoves, C. Bartolome, B. // *Food Chemistry*. – 2007. – Vol. 104, no. 2. – Pp. 814–823.
4. Blanco P. C. Production of pectic enzymes in yeast. *FEMS Siero* / Blanco P. C., Villa T. G. // *Microbiology Letters*. – 1999. – Vol. 175, no. 1. – Pp. 1–9.
5. Gainvors, A., Belardi. Detection method for polygalacturonase-producing strains of *Saccharomyces cerevisiae* / Gainvors, A., Belardi // *A Yeast*. – 1995. – Vol. 11, no. 15. – Pp. 1493–1499.
6. Takayanagi T. Characteristics of yeast polygalacturonases induced during fermentation on grape skins / Takayanagi, T., Uchibori, T. K., Yokotsuka // *American Journal of Enology and Viticulture*. – 2001. – Vol. 52, no. 1. – Pp. 41–44.
7. Influence of autochthonous yeasts on the quality of wines from Vranec and Cabernet Sauvignon varieties / Piieva F., Ivanova Petropulos V., Dimovska V., Mitrev S., Karov I., Spasov H. // 24th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry (25-28 September 2013, Sarajevo, 2013). – Sarajevo, 2013. – Pp. 220–225.
8. *Escribano-Bailo' n*, T. Alvarez-García, M., Rivas-Gonzalo, J. C., Heredia, F. J., & Santos-Buelga, C. Color and stability of pigments derived from the acetaldehyde-mediated condensation between malvidin-3-O-glucoside and (+)-catechin / *Escribano-Bailo' n*, T. Alvarez-García, M., Rivas-Gonzalo, J. C., Heredia, F. J., & Santos-Buelga, C. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2001. – Vol. 49, no. 3. – Pp. 1213–1217.
9. Bakker J. Isolation, identification and characterization of new color-stable anthocyanins occurring in some red wines / Bakker, J., Timberlake, C. F. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 1997. – Vol. 45, no. 1. – Pp. 35–43.
10. A new class of wine pigments generated by reaction between pyruvic acid and grape anthocyanins / Fulcrand H., Benabdeljalil C., Rigaud J., Cheynier V. // *Moutounet, Phytochemistry*. – 1998. – Vol. 47, no. 7. – Pp. 1401–1407.
11. Hayasaka Y. Screening for potential pigments derived from anthocyanins in red wine using nano-electrospray tandem mass spectrometry / Hayasaka Y., Asenstorfer R. E. // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2002. – Vol. 50, no. 4. – Pp. 756–761.
12. Detection of compounds formed through the reaction of malvidin 3-monoglucoside and catechin in the presence of acetaldehyde / Agric J., Rivas-Gonzalo J. C., Bravo Haro S., Santos Buelga C. // *Chemistry*. – 1995. – Vol. 43, no. 6. – Pp. 1444–1449.
13. Influence of Yeast on Polyphenol Composition of Wine / Caridi A., Cufari A., Lovino R., Palumbo R., Tedesco I. // *Food Technol. Biotechnol.* – 2004. – Vol. 42, no. 1, pp. 37–40.
14. Герджикова В. Г. Методы технохимического контроля в виноделии / В. Г. Герджикова. – К. : Таврида, 2009. – 304 с.
15. ДСТУ 4112.41:2003 Вина, виноматеріали і сусло. Метод визначення фенольних речовин (індекс Фоліна – Чікольтеу). – Чинний від 01.07.2004 р. / Національні стандарти України. – К. : Держспоживстандарт України, 2005. – 8 с.
16. Григоришен А. Усовершенствование технологи приготовления красных вин из сортов селекции ИВиВ им. В. Е. Таирова / А. Григоришен, Г. Овчинников // *Виноградарство и виноделие*. – 2004. – № 3. – С. 23–24.
17. Григоришен А. И. Сухие столовые вина северного причерноморья Украины из сортов селекции ННЦ «ИВиВ им. В. Е. Таирова» / А. И. Григоришен // *Обеспечение устойчивого производства виноградо-винодельческой отрасли на основе современных достижений*. – Анапа, 2010. – 288 с.

### References

1. Valuiko, G.G. (1973). *Biokhimiia i tekhnologiiia krasnykh vin* [Biochemistry and technology of red wines]. Kiev: Pishchevaia promyshlennost (in Russian).
2. Markosov, V.A., Ageeva, N.A. (2008). *Biokhimiia, tekhnolgiia i mediko-biologicheskie osobennosti krasnykh vin* [Biochemistry, technology and biomedical features of red wines]. Krasnodar, 224 p. (in Russian).
3. Monagas, M. Gomez-Cordoves, C. Bartolome, B. (2007). Evaluation of different *Saccharomyces cerevisiae* strains for red winemaking. Influence on the anthocyanin,

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

pyranoanthocyanin and non-anthocyanin phenolic content and colour characteristics of wines. *Food Chemistry*, vol. 104, no. 2, pp. 814–823.

4. Blanco, P. C., Villa, T. G. (1999). Production of pectic enzymes in yeast. *FEMS Siero Microbiology Letters*, vol. 175, no. 1, pp. 1–9.

5. Gainvors, A., Belardi (1995). Detection method for polygalacturonase-producing strains of *Saccharomyces cerevisiae* / *A Yeast*, vol. 11, no. 15, pp. 1493–1499.

6. Takayanagi, T., Uchibori, T. K., Yokotsuka (2001). Characteristics of yeast polygalacturonases induced during fermentation on grape skins. *American Journal of Enology and Viticulture*, vol. 52, no. 1, pp. 41–44.

7. Ilieva F., Ivanova Petropulos V., Dimovska V., Mitrev S., Karov I., Spasov H. (2013). Influence of autochthonous yeasts on the quality of wines from Vranec and Cabernet Sauvignon varieties. Proceeding from *24th International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry (25-28 September 2013, Sarajevo, 2013)*, pp. 220–225.

8. Escribano-Bailo' n, T. Alvarez-García, M., Rivas-Gonzalo, J. C., Heredia, F. J., & Santos-Buelga, C. (2001). Color and stability of pigments derived from the acetaldehyde-mediated condensation between malvidin-3-O-glucoside and (+)-catechin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 49, no. 3, pp. 1213–1217.

9. Bakker, J., Timberlake, C.F. (1997). Isolation, identification and characterization of new color-stable anthocyanins occurring in some red wines. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 45, no. 1, pp. 35–43.

10. Fulcrand, H., Benabdeljalil, C., Rigaud, J., Cheynier, V. (1998). A new class of wine pigments generated by reaction between pyruvic acid and grape anthocyanins. *Moutounet, Phytochemistry*, vol. 47, no. 7, pp. 1401–1407.

11. Hayasaka, Y., Asenstorfer, R. E., (2002). Screening for potencial pigments derived from anthocyanins in red wine using nanoelectrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 50, no. 4, pp. 756–761.

12. Agric, J., Rivas-Gonzalo, J. C., Bravo Haro, S., Santos Buelga, C. (1995). Detection of compounds formed through the reaction of malvidin 3-monoglucoside and catechin in the presence of acetaldehyde. *Chemistry*, vol. 43, no. 6, pp. 1444–1449.

13. Caridi, A., Cufari, A., Lovino, R., Palumbo, R., Tedesco, I. (2004). Influence of Yeast on Polyphenol Composition of Wine. *Food Technol. Biotechnol*, vol. 42, no. 1, pp. 37–40.

14. Grigorishen, A., Ovchinnikov G. (2004) Uovershenstvovanie tekhnologii prigotovleniia krasnykh vin iz sortov selekcii IViV im. V.E. Tairova [Improvement of technology of preparation of red wines from grades of selection Institute of Viticulture and Wine-Making]. *Vinogradarstvo i vinodelie – Viticulture and winemaking*, no. 3, pp. 23–24 (in Russian).

15. Grigorishen, A.I. (2010). Sukhie stolovye vina severnogo prichernomoria Ukrainy iz sortov selekcii NNTc «IViV im. V.E. TAIROVA» [Dry table wines of the northern Black Sea coast of Ukraine from the varieties of selection of the National Scientific Center “Tairov Research Institute of Viticulture and Wine-Making”]. Obespechenie ustoichivogo proizvodstva vinogradovi-nodelcheskoi otrasli na osnove sovremennykh dostizhenii – Ensuring sustainable production of the wine-making industry on the basis of modern achievements]. Anapa, 2010 (in Russian).

16. Gerdzhikova, V.G. (2009). Metody tekhnokhimicheskogo kontrolya v vinodelii [Methods of Technological Control in Wine-Making]. Kiev: Tavrida (in Russian).

17. Vyna, vynomaterialy i suslo. Metod vyznachennia fenolnykh rehovyn (indeks Folina – Chikolteu) [Wines, wine materials and wort. Method of determination of phenolic substances (Folin-Chicolteu index)]. (2005). *DSTU 4112.41:2003 from 01<sup>st</sup> July 2004*. Kyiv: Natsionalni standarty Ukrainy. Derzhspozhyvstandart Ukrainy (in Ukrainian).

*Olena Boichuk, Viktoria Tarasova, Nina Muljukina*

## AUTOCHTHONOUS YEAST INFLUENCE ON POLYPHENOL COMPOSITION OF WINE

**Actuality of the research.** Scientists of the world viticultural countries paid much attention to the study of autochthonous strains of wine yeast and the mechanism of yeast influence onto wine phenolic composition. There are now such researches in Ukraine, in spite of the attention to the quality of local wines. Thus, the autochthonous strains of wine yeast researches in Ukraine are very important.

**Target setting.** *The color of the wine is determined by phenolic compounds and melanoidins. Flavones - flavonols (yellow), anthocyanins (different shades of blue and purple); leyoantotsiany are phenolic compounds that give color to wines. Technology of red wines aimed at the extraction of required quantity of the structural elements of grape clusters. The strains of wine yeast is influencing the processes of extraction, so it is necessary to examine the extent to which they are able to influence these processes in relation to phenol and coloring substances.*

**Actual scientific researches and issues analysis** *In this article, we studied the mechanism of interaction of phenolic complex of grapes and wine with yeast. The implication of wine yeast in red wine colour is twofold. On one hand, wine yeast influences the extraction of grape anthocyanins during maceration and fermentation, depending on their alcohol production capacity. They also influence the formation of more stable anthocyanin forms during maturation and ageing. On the other hand, yeast can promote anthocyanin degradation and participate in certain interactions with pigments that result in colour loss.*

**The research objective** *Therefore, the aim of the study was to determine the peculiarities of phenolic composition of wines Cabernet Sauvignon, Odessa zhemchug, Charivnyi, Agate taroskyi, Otrada, obtained under microvinification with the use of autochthonous strains of wine yeast.*

**The statement of basic materials.** *30 samples of wines obtained by fermentation on spontaneous microflora and on 5 strains of indigenous yeast Y-3645; Y-3648; Y-3647; Y-3649; Y-3646 were chemically analysed. Its phenolic composition were evaluated and the yeast strain, the use of which provides better extraction of phenolic compounds and coloring was determined.*

**Conclusions.** *The optimum fermentation conditions were found. The fact, that the yeast strain Y-3647 provides better extraction of phenolic compounds and coloring was determined.*

**Key words:** *autochthonous yeast strains; phenolic complex; red wines.*

*Елена Бойчук, Виктория Тарасова, Нина Мулюкина*

## ВЛИЯНИЕ АВТОХТОННЫХ ДРОЖЖЕЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ФЕНОЛЬНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В КРАСНЫХ СТОЛОВЫХ ВИНМАТЕРИАЛАХ

*Рассмотрен механизм влияния автохтонных штаммов винных дрожжей на фенольный комплекс вин. Определен фенольный состав вин Каберне-Совиньон, Одесский жемчуг, Чаривный, Агат таировский, Отрада, полученных в условиях микровиноделия с использованием автохтонных штаммов винных дрожжей. Проанализировано 30 образцов вин, полученных брожением на спонтанной микрофлоре и на 5 штаммах автохтонных дрожжей Y-3645; Y-3648; Y-3647; Y-3649; Y-3646. Определены оптимальные условия брожения и штамм дрожжей (Y-3647), пригодный для лучшего извлечения фенольных и красящих веществ.*

**Ключевые слова:** *автохтонные штаммы дрожжей; фенольный комплекс; красные вина.*

**Бойчук Елена Олегівна** – аспірант кафедри технології вина та енології, Одеська національна академія харчових технологій (вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна).

**Бойчук Елена Олеговна** – аспірант кафедри технології вина та енології, Одеська національна академія пищевых технологий (ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина).

**Boichuk Elena** – PhD student Department of wine technology and enology, Odessa National Academy of Food Technologies (112 Kanatnaya Str., 65039 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** boichuk.lena@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0832-7732>

**Тарасова Вікторія Вікторівна** – молодший науковий співробітник хіміко-аналітичної лабораторії відділу виноробства. Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства імені В.Є. Таїрова» (вул. 40-річчя Перемоги, 27, смт Таїрово, Одеська область, 65496, Україна).

**Тарасова Виктория Викторовна** – младший научный сотрудник химико-аналитической лаборатории отдела виноделия, Национальный научный центр «Институт виноградарства и виноделия имени В.Е. Таирова» (ул. 40-летия Победы, 27, пгт Таирово, Одесская область, 65496, Украина).

**Tarasova Viktoria** – Associate researcher, National Scientific Center ‘Tairov Research Institute of Viticulture and Wine-Making’ (27 40 rokiv Peremohy Str., 65496 Tairovo, Odessa region, Ukraine).

**E-mail:** tarasovavita@mail.ua

**ORCID:** 0000-0002-7504-701X

**Мулюкіна Ніна Анатоліївна** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи, Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноробства імені В.Є. Таїрова» (вул. 40-річчя Перемоги, 27, смт Таїрово, Одеська область, Україна).

**Мулюкина Нина Анатольевна** – доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, заступник директора по науковій роботі, Національний науковий центр «Інститут виноградарства і виноделия ім. В.Е. Таїрова» (ул. 40-летия Победы, , 27, пгт Таирово, 65496 Одесская область, Украина).

**Muljukina Nina** – Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Deputy Director for Research, National Scientific Center ‘Tairov Research Institute of Viticulture and Wine-Making’ (27 40 rokiv Peremohy Str., Tairovo, 65496 Odessa region, Ukraine).

**E-mail:** tairmna2005@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5935-6015>

*Наталія Мряченко, Світлана Юрченко*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ПІНОУТВОРЮЮЧУ ЗДАТНІСТЬ ТА СТІЙКІСТЬ ПІНИ СИСТЕМИ «ПШЕНИЧНИЙ КРОХМАЛЬ-ТВІН 20»

**Актуальність теми дослідження.** У сучасних умовах харчова продукція з пролонгованим терміном зберігання, у т.ч. десертна, користується значним попитом. Проте муси тривалого зберігання не представлені на споживчому ринку харчовою промисловістю і практично відсутні в ЗРГ через нестабільні споживчі характеристики у часі.

**Постановка проблеми.** Визначено інноваційну стратегію виробництва плодкових та овочевих мусів тривалого зберігання з використанням в їх складі Твін 20 та пшеничного крохмалю, що дозволить розробити нову технологію мусів та реалізувати її в умовах індустріального виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процеси піноутворення в харчовій промисловості відіграють важливу роль, оскільки значна група харчових продуктів має піну структуру. Тому актуальним є розробка наукових принципів регулювання фізико-хімічних та функціональних властивостей пін з метою їх реалізації при виробництві харчової продукції з піноподібною структурою.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У науковій літературі відсутня інформація про можливість використання крохмалів у складі десертної продукції з піноподібною структурою.

**Постановка завдання.** Актуальним є визначення впливу рецептурних компонентів та параметрів обробки модельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20» на показники піноутворюючої здатності та стійкості піни.

### **Викладення основного матеріалу.**

Досліджено вплив температури, цукру білого, лимонної кислоти на піноутворюючу здатність та стійкість піни модельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20», яка є базовою основою для реалізації технології мусів з використанням пшеничного крохмалю, що дозволить реалізувати її в умовах індустріального виробництва.

**Висновки.** Встановлено доцільність використання в рецептурному складі мусів Твін 20 в якості піноутворювача та пшеничного крохмалю, як інгредієнта, що забезпечує їх колоїдну стабільність. Визначено, що збивання рецептурної суміші необхідно здійснювати за температури 60...65 °С з поступовим підвищенням до 85±2 °С. Раціональні концентрації компонентів мусів з використанням пшеничного крохмалю становитимуть: крохмалю пшеничного – 14,0 %, цукру білого – 10,0 %, Твін 20 – 0,25 %.

**Ключові слова:** пшеничний крохмаль; Твін 20; піноутворююча здатність; стійкість піни; мус.

**Постановка проблеми.** У сучасних умовах мегаполісу, через надмірну зайнятість населення, харчова продукція з пролонгованим терміном зберігання, у т.ч. десертна, користується значним попитом. Асортимент десертної продукції, що пропонується харчовою промисловістю, значно вужчий за заклади ресторанного господарства (ЗРГ), який є досить різноманітним і постійно оновлюється [1].

Сучасні умови виробництва харчової продукції ставлять нові задачі з удосконалення технології їх отримання та покращення споживчих характеристик. Споживачі дедалі більше вимагають від виробників високих смакових якостей десертної продукції, диктують науковцям напрями розробки нових технологій, які дозволять раціоналізувати харчування українців та зробити його повноцінним.

Аналіз ринку десертної продукції з піноподібною структурою, яка пропонується підприємствами харчової промисловості, показав, що цей сегмент представлений досить вузьким асортиментом, який не задовольняє попит споживачів та диктує необхідність розширення її асортиментного ряду [2]. Слід зазначити, що муси, які є представниками збитої десертної продукції, не представлені на споживчому ринку підприємствами харчової промисловості і практично відсутні в ЗРГ через трудомісткість та багатостадійність технологічного процесу їх виробництва.

Відомо, що основною сировиною для виробництва мусів є плодіві чи ягідні соки та пюре. Вони характеризуються меншою калорійністю в порівнянні з іншими представниками цієї групи, легко засвоюються організмом та містять значну кількість вітамінів за рахунок використання рослинної сировини для їх виробництва [3].

Достовірно відомо, що харчова продукція, яка містить у своєму складі полісахариди, характеризується не тільки зниженим вмістом калорій, а також позитивно впливає на здоров'я людини будь-якого віку [4].

Літературні дані свідчать, що у процесі виробництва десертної продукції з піноподібною структурою, а саме мусів, застосовуються піно- та структуроутворювачі, які формують реологічні властивості готової продукції та забезпечують стабільні показники якості. Застосування для цих цілей сировини рослинного походження дозволяє не тільки покращувати якість і розширювати асортимент харчової продукції, а й раціонально використовувати місцеві ресурси [5].

Таким чином, на підставі проведених досліджень споживчого ринку, їх аналізу та з урахуванням існуючих тенденцій визначено інноваційну стратегію виробництва нового продукту: плодових та овочевих мусів тривалого зберігання з використанням в їх складі поверхнево-активної речовини (Твін 20) як піноутворювача та пшеничного крохмалю як інгредієнта, що забезпечує їх колоїдну стабільність за рахунок регулювання динамічних фазових переходів крохмальвмісної сировини сумісно з поверхнево-активною речовиною (ПАР). Це дозволить розробити нову технологію мусів та реалізувати її в умовах індустріального виробництва.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процеси піноутворення у харчовій промисловості відіграють важливу роль, оскільки значна група харчових продуктів має пінну структуру. Тому актуальним є розробка наукових принципів регулювання фізико-хімічних та функціональних властивостей пін з метою їх реалізації у процесі виробництва харчової продукції з високими органолептичними показниками, харчовою та біологічною цінністю.

У результаті дослідження процесу піноутворення отримані дані не дозволяють встановити закономірності величини піноутворюючої здатності (ПЗ) через значну кількість чинників, що впливають на неї, зокрема стан та вид піноутворювача, його концентрація, величина в'язкості дисперсного середовища, наявність речовин, які підвищують піноутворюючу здатність та стійкість піни (СП) [6].

Важливими характеристиками якості піни є величина піноутворення, а саме у скільки разів збільшується об'єм піни після збивання та стійкість піни – тривалість існування бульбашок газу в піні [7].

Піни – це дисперсні системи, які є термодинамічно нестійкими. Їх утворення супроводжується підвищенням вільної енергії. Надлишкова енергія викликає мимовільні процеси, які призводять до зменшення дисперсності і руйнування піни. Тому необхідною умовою піноутворення є така: один з розчинених компонентів має бути поверхнево активним, пінні плівки повинні характеризуватися поверхневою пружністю, яка повинна виявлятися протягом всього часу розтягування і відновлення плівки. Щоб пінна плівка мала пружність, піноутворювач не повинен дифундувати з плівки до знов виникаючої поверхні, раніше ніж плівка повернеться в початковий стан. Чинником, який здійснює суттєвий вплив на час життя піни, є в'язкість рідини. Природно, що дуже в'язким пінам притаманна підвищена стійкість [8].

Стійкість піни залежить від типу і концентрації поверхнево активних речовин, хімічного складу, складу і кількості дисперсної фази, способу піноутворення та термодинамічних параметрів стану пінної системи. Усі ці фактори визначають структуру і властивості плівкового каркасу піни [7].

Однією з умов утворення стабільної пінної структури є необхідність зменшення поверхневого натягу рідини, яке досягається введенням ПАР. Ці речовини часто виявляють суміжні функціональні властивості піноутворювачів, стабілізаторів та емульгаторів і знаходять використання в технологіях харчової продукції зі збитою структурою.

На сьогодні існує широкий асортимент ПАР, призначених для виробництва харчової продукції. Найчастіше застосовують неіоногенні ПАР – гліцериди жирних кислот та їх ефіри, моно- і дигліцериди жирних кислот, ефіри полігліцерину і жирних кислот та їх суміші [9].

Одним із обов'язкових інгредієнтів десертної продукції є цукор, який проявляє виражені дегідратаційні властивості, що зумовлює дослідження його впливу на піноутворюючу здатність. Відомо, що цукор негативно впливає на поверхнево активні речовини, зокрема підвищує поверхневий натяг, зменшує міцність міжадсорбційних шарів, діє як дегідрататор на білки [6]. Сахароза є структуроутворювачем, тому зміна кількості цього інгредієнта буде впливати на стан пінної структури та процес її утворення, тобто впливатиме на піноутворювальну здатність системи [10].

Основними фізико-хімічними процесами під час виробництва харчової продукції з пінною структурою є піно- та драглеутворення, причому вони реалізуються строго послідовно з метою досягнення високої стабільності структури та якості готової продукції. Керуючи швидкістю піноутворення та однорідністю дисперсності повітряних бульбашок можна отримати піноподібну структуру. Стійкість піни досягається за допомогою драглеутворення дисперсійного середовища, за умов якого стабілізуються пружно-еластичні властивості пінних плівок [4].

Процес піноутворення складний за сумісного впливу фізико-хімічних, механічних та інших факторів. При заміні цукру на патоку піноутворююча здатність білка підвищується. До складу патоки входять декстрини, що володіють властивостями поверхнево активних речовин. Крім того, патока значно підвищує в'язкість пінних плівок і уповільнює відтік рідини з піни [11].

Значна частина харчової продукції з рослинними добавками характеризується пінною або емульсійною структурою, яка разом з іншими інгредієнтами рецептури визначає високі органолептичні переваги і підвищений попит на них споживачів. Володіючи поверхнево активними властивостями, рослинні добавки здійснюють свій внесок у формування структури вищезазначеної групи продукції. При цьому вивчення властивостей рослинних добавок пов'язують, насамперед, з їх зміною під дією різних технологічних факторів. Важливими технологічними факторами, що мають місце у процесі виробництва харчової продукції з пінною або емульсійною структурою, є температура, наявність та природа піноутворювача, присутність у харчовій системі цукру та харчових кислот [12].

Таким чином, виробництво десертної продукції з піноподібною структурою пролонгованого терміну зберігання дозволить розширити асортимент цієї групи, який виробляється підприємствами харчової промисловості та задовольнити потреби споживачів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У літературних джерелах є достатньо інформації про вплив технологічних факторів (концентрації, виду та природи піноутворювачів, наявності ПАР, сахарози, солей, величини рН, температури) на піноутворюючу здатність та стійкість піни білкових систем, стабілізація яких досягається за рахунок технологічного впливу (теплова чи холодильна обробка). Також відомо, що як структуроутворювачі десертної продукції з піноподібною структурою найчастіше використовують желатин та манну крупу, які мають певні недоліки.

У науковій літературі відсутня інформація про можливість використання крохмалів у складі десертної продукції з піноподібною структурою.

З урахуванням проведених досліджень та інноваційного задуму розробки нової продукції – плодівих та овочевих мусів пролонгованого терміну зберігання нами підтверджено доцільність використання ПАР (Твін 20) сумісно з пшеничним крохмалем як структуроутворювача системи, який за рахунок динамічних фазових переходів за теплової обробки забезпечує необхідну в'язкість.

З урахуванням вищезазначеного актуальним є проведення експериментальних досліджень щодо визначення впливу рецептурних компонентів та параметрів обробки мо-



дельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20» на показники піноутворюючої здатності та стійкості піни.

**Мета статті.** Дослідити вплив технологічних факторів (температури, цукру, величини рН) на піноутворюючу здатність та стійкість піни модельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20», яка є базовою основою для реалізації технології мусів з використанням пшеничного крохмалю, що дозволить реалізувати її в умовах індустріального виробництва.

**Виклад основного матеріалу.** Проведеними попередніми дослідженнями встановлено доцільність використання Твін 20 як піноутворювача для реалізації технології мусів, однак його показники стійкості піни є недостатніми. Тому як структуроутворювач пінної системи нами було обрано пшеничний крохмаль, який буде забезпечувати стабільну структуру мусу в часі.

Обґрунтування вмісту пшеничного крохмалю, який виконує роль стабілізатора харчової системи, необхідно здійснювати з урахуванням температури обробки рецептурної суміші, від якої залежать в'язкісні характеристики системи на різних етапах технологічного процесу.

Для виявлення закономірностей впливу параметрів теплової обробки на властивості піноподібних систем з використанням пшеничного крохмалю досліджено піноутворюючу здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20» за різних температур обробки. З літературних джерел відомо, що температура клейстеризації пшеничного крохмалю знаходиться в межах 60 °С (початкова)...80 °С (кінцева), саме тому в цьому температурному інтервалі були здійснені дослідження (рис. 1-4).

Встановлено, що за температури обробки 60 °С (рис. 1) спостерігається збільшення показників ПЗ та СП модельних систем залежно від концентрації Твін 20. Найвищі значення ПЗ характерні для систем, які містять 6,0...12,0 % крохмалю та 0,3 % ПАР та зазначені в межах 365...380 %. Найкращим значенням СП (83 %) характеризується система з концентрацією Твін 20 0,3 % за максимального вмісту крохмалю, який становить 14,0 %.

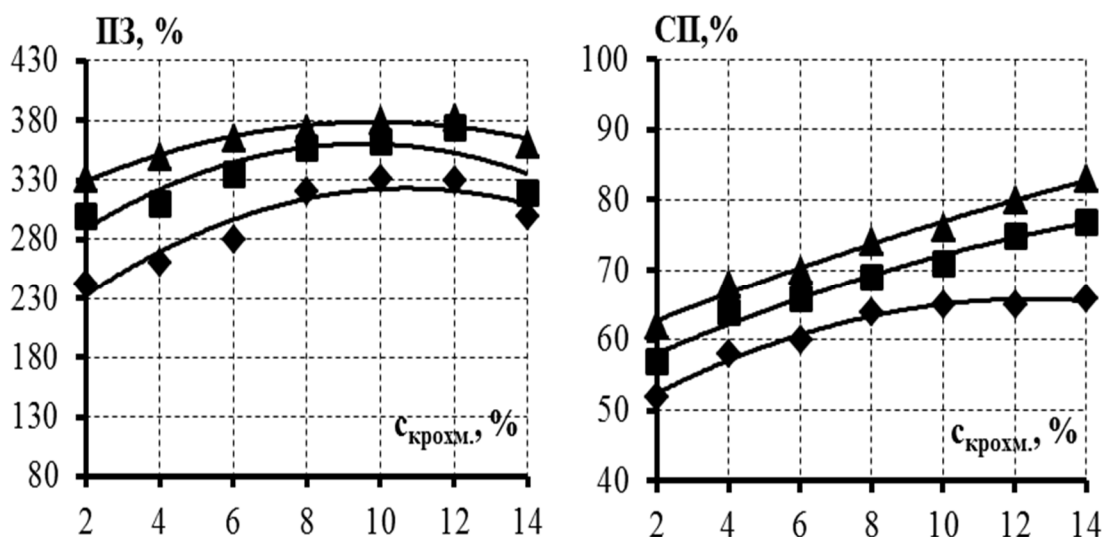


Рис. 1. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 за температури 60 °С від концентрації крохмалю за концентрації ПАР, %:  
 ◆ – 0,1; ■ – 0,2; ▲ – 0,3

З рис. 2 видно, що за температури обробки 70 °С спостерігається зменшення показників ПЗ та підвищення значень СП. Найкращою ПЗ характеризується модельна система з крохмалем концентрацією 6,0 %, значення показника якої становить 370 % за концентрації ПАР 0,3 %. Найвищий показник СП спостерігається для модельної системи з ПАР концентрацією 0,3 % та крохмалю – 12,0 %, значення якого знаходиться на рівні 95 %.



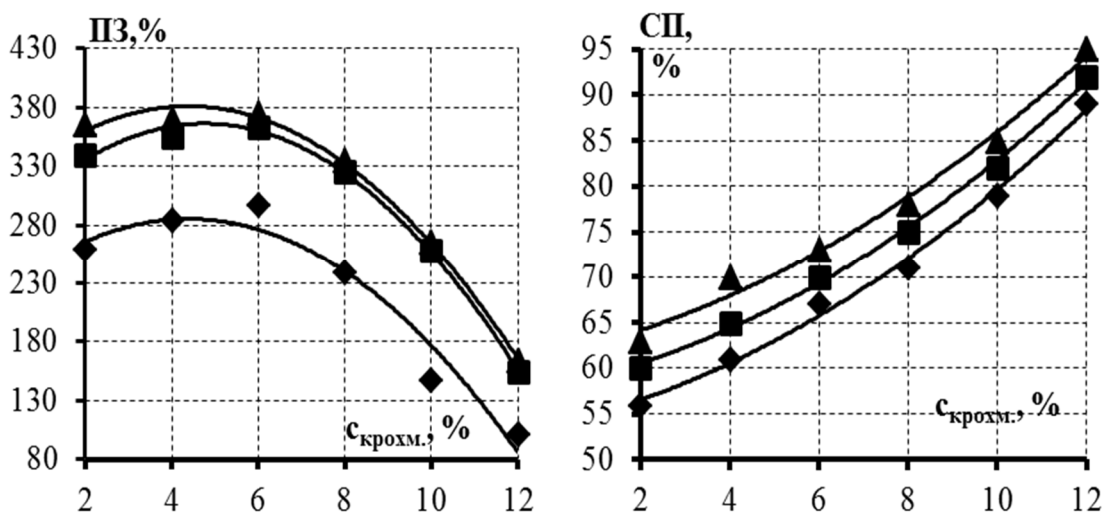


Рис. 2. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 за температури 70 °С від концентрації крохмалю за концентрації ПАР, %:  
 ◆ – 0,1; ■ – 0,2; ▲ – 0,3

Встановлено, що за температури обробки 80 °С (рис. 3) спостерігається зниження показників ПЗ та підвищення значень СП за рахунок процесу клейстеризації крохмалю. Найкращими показниками ПЗ характеризуються системи з концентрацією крохмалю у діапазоні 4,0...6,0 % за концентрації ПАР 0,3 %, значення яких знаходяться на рівні 380...325 %. Найвище значення СП характерне для систем з ПАР концентрацією 0,3 %, яке залежно від концентрації крохмалю в системі (2,0...10,0 %) знаходиться в діапазоні 75...100 %.

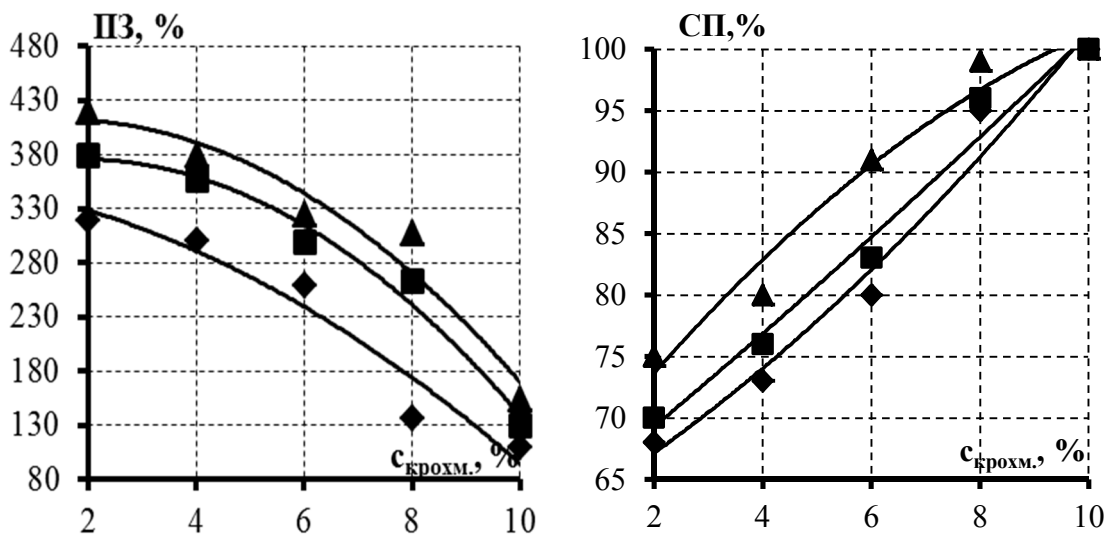


Рис. 3. Піноутворююча здатність та стійкість піни Твін 20 за температури 80 °С від концентрації крохмалю за концентрації ПАР, %:  
 ◆ – 0,1; ■ – 0,2; ▲ – 0,3

З рис. 4 видно, що підвищення температури обробки модельних систем сприяє збільшенню в'язкості, що, у свою чергу, призводить до зменшення ПЗ, але збільшення показників СП. Встановлено, що за температури обробки 60 °С, тобто на початку клейстеризації, коли ще відсутній значний приріст в'язкості при збільшенні концентрації крохмалю в системі, спостерігаються найвищі показники ПЗ на рівні 330...380 %, в той час як пока-

зники СП становлять 60...80 %. Це пояснюється колоїдною нестабільністю, оскільки в системі переважають крохмальні зерна, які не в змозі утримати структуру, а навпаки сприяють її руйнуванню. Стійкість піни, що близька до 100 %, характерна для систем, які містять 8,0...14,0 % крохмалю за температури обробки 80, 90 °С та 12,0 % крохмалю за температури обробки 70 °С. Піноутворююча здатність для систем з концентрацією крохмалю 6,0 % становила 250...285 %, для 8,0 % крохмалю – 160...250 %. Модельні системи, в яких концентрація крохмалю становила 12,0 %, взагалі не збивалися за температури обробки 80, 90 °С, а за 70 °С показники ПЗ характеризувалися на рівні 160 %, які є недостатніми для реалізації технології мусів з використанням пшеничного крохмалю.

Отримані дані дозволяють констатувати, що використання крохмалю з різними концентраціями сприяє підвищенню показників СП. Це пояснюється фазовими переходами пшеничного крохмалю сумісно з ПАР, що дозволяє отримати модельні системи підвищеної в'язкості, які є стабільними у часі.

З метою адаптації обраної модельної системи до реальних технологічних умов було досліджено вплив цукру білого у концентрації 10,0 % та лимонної кислоти у концентрації 1,0 % на модельну систему «пшеничний крохмаль-Твін 20» залежно від температури обробки.

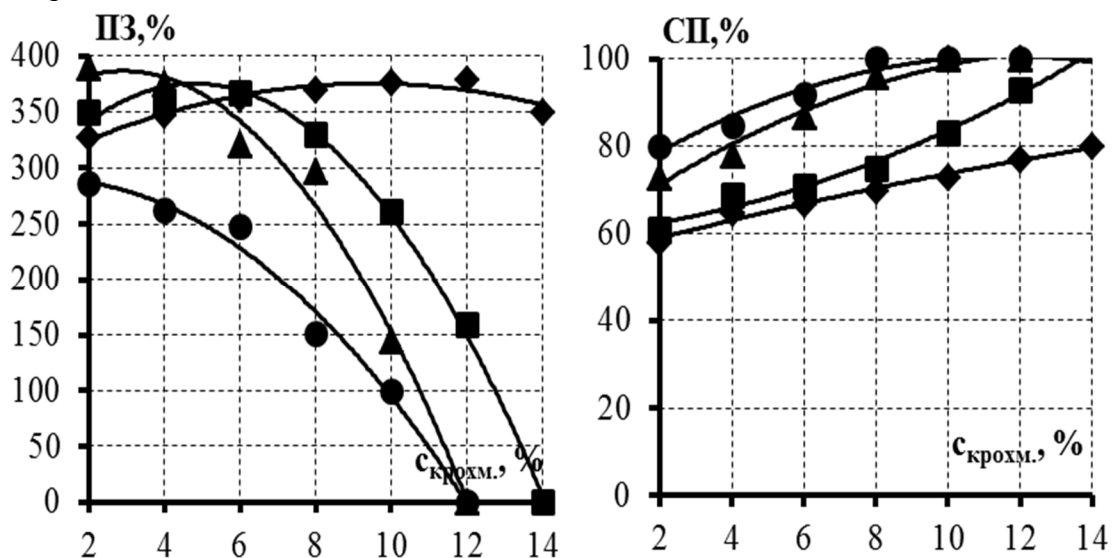


Рис. 4. Піноутворююча здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль – Твін 20 (0,25 %)» від концентрації крохмалю за температури обробки, °С: ◆ – 60; ■ – 70; ▲ – 80; ● – 90

На рис. 5 представлено результати експериментальних досліджень з визначення показників ПЗ та СП модельної системи «пшеничний крохмаль-Твін 20» за концентрації 6,0 % крохмалю та 0,25 % Твін 20, оскільки саме за такої концентрації крохмалю система характеризується високими показниками з ПЗ (370 %) та СП (73 %).

З рис. 5 видно, що присутність цукру білого в модельній системі сприяє зменшенню показника ПЗ з 330 % до 320 % в діапазоні температур 60...80 °С порівняно з аналогом (без цукру), значення якого знаходяться на рівні 360...330 %. Лимонна кислота також здійснює негативний вплив на ПЗ модельної системи, сумісна дія якої з цукром призводить до отримання показників ПЗ на рівні 276...250 %.

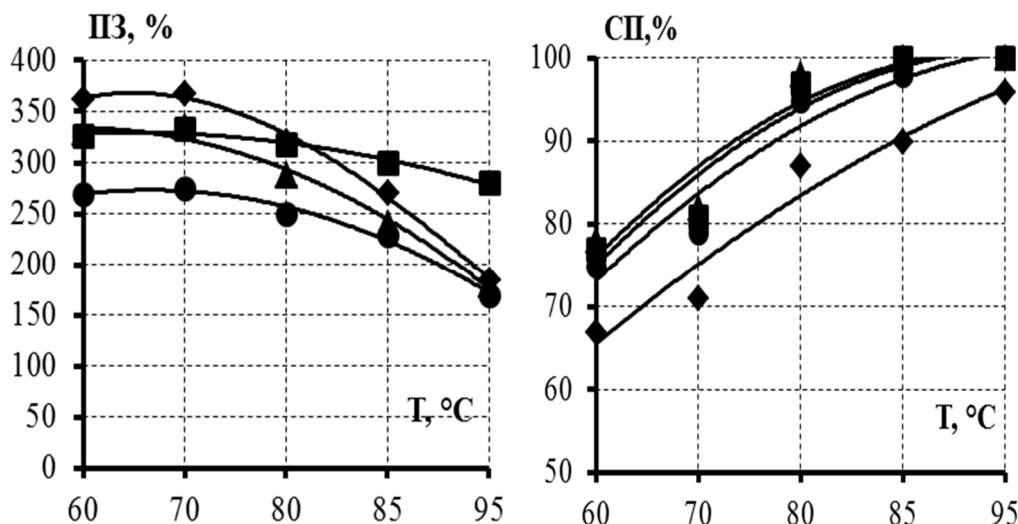


Рис. 5. Піноутворююча здатність та стійкість піни модельних систем «пшеничний крохмаль - Твін 20» за температури обробки від концентрації, %: цукру білого ◆ – 0, ■ – 10,0; лимонної кислоти ▲ – 1,0; ● – цукру білого та лимонної кислоти

Дослідження СП вищезазначеної модельної системи свідчить про позитивний вплив цукру білого та лимонної кислоти на показники СП, які вже за температури обробки 85 °С становлять 100 %.

Проведені експериментальні дослідження довели можливість сумісного використання Твін 20 разом з пшеничним крохмалем, які виконують роль піноутворювача та стабілізатора системи. Це стало можливо завдяки унікальній властивості крохмалю за гідротермообробки утворювати колоїдні дисперсії (клейстер) під впливом певних температур. За цих умов ступінь гідратації крохмальних дисперсій різний, тобто за знижених температур (60...65 °С) 14,0 % крохмальна дисперсія характеризується показниками ПЗ на рівні 6,0 %, що дозволяє реалізувати технологію мусів з використанням пшеничного крохмалю. З метою стабілізації пінної системи необхідно здійснити її додаткове нагрівання до температури 85±2 °С, що призведе до клейстеризації решти крохмалю з досягненням ефекту концентраційної стабілізації піни. За цих умов технологічний процес є неперервним, дозволяє реалізувати його в умовах індустріального виробництва та отримати продукцію стабільної якості з пролонгованим терміном зберігання.

**Висновки і пропозиції.** Встановлено доцільність використання пшеничного крохмалю сумісно з Твін 20 як структуроутворювача системи, який за рахунок динамічних фазових переходів при тепловій обробці забезпечує сталі показники стійкості піни. Визначено, що збивання рецептурної суміші необхідно здійснювати за температури 60...65 °С, що забезпечить максимальні показники піноутворюючої здатності з поступовим підвищенням до 85±2 °С з метою забезпечення значень стійкості піни на рівні 100 %. Рациональні концентрації компонентів мусів з використанням пшеничного крохмалю становитимуть: крохмалю пшеничного – 14,0 %, цукру білого – 10,0 %, Твін 20 – 0,25 %.

#### Список використаних джерел

1. Тележенко Л. М. Вплив швидкості і умов заморожування на динаміку фенольного комплексу десертів / Л. М. Тележенко, Ю. Г. Паскал // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. – 2009. – Вип. 36, т. 2. – С. 21–25.
2. Кондратюк Н. В. Наукове обґрунтування використання капсульних продуктів із про біотичними властивостями у складі збивної десертної продукції / Н. В. Кондратюк // Наукові праці [Одеської національної академії харчових технологій]. – 2011. – Вип. 40, т. 2. – С. 191–196.

3. Айрапетян А. В. Технологія мусу покращеної біологічної цінності / А.В. Айрапетян, Г. В. Браженко // Інтегральна роль науки та освіти у міжнародному розподілі праці : збірник статей магістрів, аспірантів, молодих учених. – Х. : ХТЕІ КНТЕУ, 2012. – Ч. 1. – С 10–15.
4. Степанова Т. М. Вплив сахарози на структурно-механічні властивості системи на основі «напівфабрикату драгле утворюючого для желейних виробів» / Т. М. Степанова, Н. В. Кондратиук, Є. П. Пивоваров // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2015. – № 3/10 (75). – С. 49–54.
5. Ляхова А. В. Маркетингове дослідження ринку виробництва десертів з пінною структурою / А. В. Ляхова // Інтегральна роль науки та освіти у міжнародному розподілі праці: Збірник статей магістрів, аспірантів, молодих вчених. – Х. : ХТЕІ КНТЕУ, 2012. – Ч. 1. – С. 321–326.
6. Сабадош Г. О. Вплив факторів на піноутворення в технології молочних десертів з використанням карагану / Г. О. Сабадош // Вісник НТУ «ХП». – 2016. – № 29 (1209). – С. 49–54.
7. Самойленко І. П. Властивості модифікованих крохмалів та їх вплив на фізико-хімічні параметри емульсійних систем / І. П. Самойленко, І. Л. Корецька., Є. І. Ковалевська // Ukrainian Food Journal. – 2012. – V.1, Is. 1. – С. 30–33.
8. Єфремова О. С. Обґрунтування використання поверхнево-активних речовин у технології рослинних вершків / О. С. Єфремова, А. Б. Горальчук, П. П. Пивоваров // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі : зб. наук. пр. / Харків. держ. ун-т харч. та торг. – Х. : ХДУХТ, 2010. – Вип. 1 (11). – С. 123–131.
9. Дослідження впливу поверхнево-активних речовин на піноутворюючу здатність білка / С. С. Шкабура, О. С. Кобець, О. В. Арпуль, В. Ф. Доценко // Актуальні задачі сучасних технологій : матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів (25-26 листопада 2015 р. Тернопіль). – Тернопіль, 2015. – С. 162–163.
10. Гніцевич В. А. Обґрунтування параметрів виробництва збивних десертів на основі напівфабрикату з топінамбура та кизилю / В. А. Гніцевич, О. О. Васильєва // Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі. – 2015. – № 1 (73). – С. 11–17.
11. Суфле пониженної сахароемкості / Г. О. Магомедов, Л. А. Лобосова, М. Г. Магомедов, И. Г. Барсукова // Вестник ВГУИТ. – 2014. – № 2. – С. 108–111.
12. Артемова Е. Н. Использование метода математического планирования эксперимента при исследовании пенообразующих и эмульгирующих свойств овощных соков / Е. Н. Артемова // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2011. – № 6(11). – С. 10–13.

### References

1. Telezhenko, L.M., Paskal, Yu.H. (2009). Vplyv shvydkosti i umov zamorozhuvannia na dynamiku fenolnoho kompleksu desertiv [The impact velocity and freezing conditions on the dynamics of the phenolic complex desserts]. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnologii – Proceedings Odessa National Academy of Food Technologies*, vol. 2, issue 36, pp. 21–25 (in Ukrainian).
2. Kondratiuk, N. V. (2011). Naukove obgruntuvannia vykorystannia kapsulnykh produktiv iz pro biotychnymy vlastyvoistyamy u skladi zbyvnoi desertnoi produktsii [Scientific justification capsule products with probiotic properties consisting churned dessert products]. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnologii – Proceedings Odessa National Academy of Food Technologies*, vol. 2, issue 40, pp. 191-196 (in Ukrainian).
3. Airapetian, A.V., Brazhenko, H. V. (2012). Tekhnolohiia musu pokrashchenoi biolohichnoi tsinnosti [The technology of mousse an improved of biological value]. *Intehralna rol nauky ta osvity u mizhnarodnomu rozpodili pratsi: zbirnyk statei mahistriv, aspirantiv, molodykh vchenykh – The integral role of science and education in the international division of labor: Collection of articles masters, graduate students, young scientists*, vol. 1, pp. 10–15 (in Ukrainian).
4. Stepanova, T.M., Kondratiuk, N.V., Pyvovarov Ye.P. (2015). Vplyv sakharozy na strukturno-mekhanichni vlastyvoisty systemy na osnovi «napivfabrykatu drahle utvoriuiuchoho dlia zheleinykh vyrobiv» [Influence of sucrose on structural and mechanical properties systems based on «jelly forming semi-finished products for jelly products»]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European journal of enterprise technologies*, vol. 3, no. 10 (75), pp. 49–54 (in Ukrainian).
5. Liakhova, A.V. (2012). Marketynhove doslidzhennia rynku vyrobnytstva desertiv z pinnoiu strukturoiu [Marketing research desserts production of foam structure]. *Intehralna rol nauky ta osvity*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*u mizhnarodnomu rozpodili pratsi: Zbirnyk statei mahistriv, aspirantiv, molodykh vchenykh – The integral role of science and education in the international division of labor: Collection of articles masters, graduate students, young scientists*, vol. 1, pp. 321–326 (in Ukrainian).

6. Sabadosh, H. O. (2016). Vplyv faktoriv na pinoutvorennia v tekhnolohii molochnykh desertiv z vykorystanniam karahinanu [The influence of factors on the foaming technology of milk desserts using carrageenan]. *Visnyk NTU «KhPI» – Bulletin of National Technical University «KhPI»*, no. 29 (1209), pp. 49–54 (in Ukrainian).

7. Samoilenko, I.P., Koretska, I.L., Kovalevska, Ye.I. (2012). Vlastyivosti modyfikovanykh krokhmaliv ta yikh vplyv na fizyko-khimichni parametry emulsiynykh system [Properties of the modified starches and their influence on physical and chemical parameters of emulsive systems]. *Ukrainian Food Journal*, vol. 1, issue 1, pp. 30–33 (in Ukrainian).

8. Yefremova, O.S., Horalchuk, A.B., Pyvovarov, P.P. (2010). Obgruntuvannia vykorystannia pov-erkhnevo-aktyvnykh rehovyn u tekhnolohii roslynnykh vershkiv [Justification use of surfactants in the technology of vegetable cream]. *Prohresyvni tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restoranoho hospodarstva i torhivli: zb. nauk. pr. – Progressive technique and technologies of food production enterprises, catering business and trade: col. scient. works*, vol. 1(11), pp. 123–131 (in Ukrainian).

9. Shkabura, S.S., Kobets, O.S., Arpul, O.V., Dotsenko, V.F. (2015). Doslidzhennia vplyvu pov-erkhnevo-aktyvnykh rehovyn na pinoutvoriuiuchu zdattist bilka [The influence of surfactants in foaming ability of protein]. *Aktualni zadachi suchasnykh tekhnolohii: Materialy IV Mizhnarodnoi naukovy-tekhnichnoi konferentsii molodykh uchenykh ta studentiv – Recent problems of modern technology: Proceedings IV International scientific conference of young scientists and students* (Ternopil, November 25–26, 2015). Ternopil, pp. 162–163 (in Ukrainian).

10. Hnitsevykh, V.A., Vasylieva, O.O. (2015). Obgruntuvannia parametriv vyrobnytstva zbyvnykh desertiv na osnovi napivfabrykatu z topinambura ta kyzylyu [Justification production parameters whipped dessert on the basis of semi products made of jerusalem artichoke and dogwood]. *Naukovyi visnyk Poltavskoho universytetu ekonomiky i torhivli – Scientific Bulletin of Poltava University of Economics and Trade*, no. 1 (73), pp. 11–17 (in Ukrainian).

11. Magomedov, G.O., Lobosova, L.A., Magomedov, M.G., Barsukova, I.G. (2014). Sufle ponizhennoi sakharoemkosti [Souffle with reduced amount of sugar]. *Vestnik VGUIT – Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technologies*, no. 2, pp. 108–111 (in Russian).

12. Artemova, E. N. (2011) Ispolzovanie metoda matematicheskogo planirovaniia eksperimenta pri issledovanii penoobrazuiushchikh i emulgiruiushchikh svoistv ovoshchnykh sokov [The use of a method of mathematical planning of experiment in the study of blowing and emulsifying properties of vegetable juices]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov – Technology and the study of merchandise of innovative foodstuffs*, no. 6 (11), pp. 10–13 (in Russian).

*Nataliia Mriachenko, Svitlana Iurchenko*

## STUDY OF TECHNOLOGICAL FACTORS IMPACT ON FOAMING ABILITY AND FOAM STABILITY OF “WHEAT STARCH-TWEEN 20” SYSTEM

**Urgency of the research.** Food products with prolonged shelf life, including desserts, are in great demand in modern conditions. However, long-term storage mousses are not represented in the consumer market by the food industry and are almost absent in restaurant industry enterprises because of unstable consumer characteristics in time.

**Target setting.** Innovative strategy of production of fruit and vegetable long-term storage mousses using Tween 20 and wheat starch in their composition was defined, which will allow to develop new mousse technology and to implement it in terms of industrial production.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Foaming processes play an important role in food industry because the large group of food has foamy structure. So the development of scientific principles of physicochemical and functional properties of foams regulating for their implementation in the production of food with foamy structure is actual.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In the scientific literature there is no information about the possibility of using starches in the composition of dessert products with spumy structure.

**The research objective.** The determination of the influence of recipe ingredients and processing parameters of model system “wheat starch-Tween 20” on the foaming ability and foam stability indicators is actual.

**The statement of basic materials.** The influence of temperature, white sugar, citric acid on foaming ability and foam stability of model system “wheat starch-Tween 20”, which is the basic foundation for the realization of mousses technology using wheat starch, was investigated, that will allow to implement it in terms of industrial production.

**Conclusions.** *The expediency of use of Tween 20 as a foamer and wheat starch as an ingredient, which ensures their colloidal stability, in mousses recipe composition is determined. It was determined that recipe mixture whipping should be carried out at a temperature of 60 ... 65 °C with a gradual increase to 85 ± 2 °C. There will be such rational concentrations of components of mousses using wheat starch as: wheat starch - 14.0%, white sugar – 10.0%, Tween 20 - 0.25%.*

**Key words:** *wheat starch; Tween 20; foaming ability; foam stability; mousse.*

*Наталія Мряченко, Светлана Юрченко*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПЕНООБРАЗУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ И СТОЙКОСТЬ ПЕНЫ СИСТЕМЫ «ПШЕНИЧНЫЙ КРАХМАЛ-ТВИН 20»**

*Современные условия производства пищевой продукции ставят новые задачи по совершенствованию технологии их получения и улучшения потребительских характеристик. Потребители все больше требуют от производителей высоких вкусовых качеств десертной продукции, диктуют ученым направления разработки новых технологий, которые позволяют рационализировать питание украинцев и сделать его полноценным.*

*Таким образом, производство десертной продукции с пенообразной структурой пролонгированного срока хранения позволит расширить ассортимент данной группы и удовлетворить потребности потребителей.*

*С учетом вышеизложенного актуальным является проведение экспериментальных исследований по определению влияния рецептурных компонентов и параметров обработки модельной системы «пшеничный крахмал-Твин 20» на показатели пенообразующей способности и устойчивости пены.*

**Ключевые слова:** *пшеничный крахмал; Твин 20; пенообразующая способность; устойчивость пены; мусс.*

**Мряченко Наталія Вікторівна** – здобувач кафедри технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Мряченко Наталія Вікторівна** – соискатель кафедры технологии питания, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Mriachenko Nataliia Viktorivna** – PhD student, Department of Food Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

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

**Юрченко Світлана Леонідівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Юрченко Светлана Леонидовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии питания, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Iurchenko Svitlana Leonidivna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Food Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

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

## РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 624-057(477.51)

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-219-235

Віктор Бугай, Володимир Іванишин, Валентин Дудко

### ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЛЯНКИ ПІД БУДІВНИЦТВО ЕЛЕВАТОРА

**Актуальність проблеми.** Тема надзвичайно актуальна, тому що інженерно-геологічні вишукування (дослідження) під будівництво будь-якої будівлі чи споруди є обов'язковими. Без них не повинно починатися будівництво. Вони містять рекомендації для будівельників.

**Постановка проблеми.** Четвертинні відклади покривають майже всю територію Чернігівщини. На них будується переважна більшість будівель і споруд. Проте вони вивчені недостатньо, що є будівельною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На ділянці, яка розглядається, інженерно-геологічні дослідження не проводилися, тому публікації відсутні.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Невирішеною частиною проблеми була відсутність результатів інженерно-геологічних вишукувань на ділянці під будівництво елеватора.

**Постановка завдання.** Цільовим завданням робіт було вивчення інженерно-геологічних умов ділянки під будівництво на ній трьох силосів для зберігання зерна.

**Викладення основного матеріалу.** Ділянка досліджень є складовою частиною Яготинської слабо розчленованої рівнини, що відповідає IV надзаплавній моренній терасі ріки Дніпра. Геологічна будова ділянки за результатами буріння і статичного зондування вивчена до глибини 27 м. Розкритий розріз складений сучасними техногенними утвореннями, верхньочетвертинними, середньочетвертинними і середньо-нижньочетвертинними відкладами. Витриманий горизонт ґрунтових вод залягає на глибині 6,35–6,50 м. За хімічним складом ґрунтові води за всіма показниками не агресивні до конструкцій з бетону всіх марок, азбестоцементних конструкцій та цементних розчинів. За номенклатурою, складом, станом та фізико-механічними властивостями виділено 19 верств і стільки ж інженерно-геологічних елементів (ІГЕ).

**Висновки.** Район розвідування знаходиться на IV надзаплавній моренній терасі р. Дніпра. Товща розкритих ґрунтів неоднорідна. Ґрунтові води живляться інфільтраційними атмосферними опадами. Коливання рівня ґрунтових вод у багаторічному режимі складає 3,5 м. За сукупністю факторів територія вишукувань належить до III (складної) категорії інженерно-геологічних умов.

**Ключові слова:** ґрунти; вишукування; інженерно-геологічні елементи; зондування; свердловина; вода; елеватор.

**Постановка проблеми.** Четвертинні відклади покривають майже всю територію Чернігівщини. На них будується переважна більшість будівель і споруд. Проте вони вивчені недостатньо, що є будівельною проблемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На ділянці, яка розглядається, інженерно-геологічні дослідження не проводилися, тому публікації відсутні.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Невирішеною частиною проблеми була відсутність результатів інженерно-геологічних вишукувань на ділянці під будівництво елеватора.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є оприлюднення важливих результатів інженерно-геологічних вишукувань на одній з недосліджених ділянок Чернігівської області.

**Виклад основного матеріалу.** Інженерно-геологічні вишукування під будівництво другої черги елеватора на 50 тисяч тонн зерна в с. Велика Доч Борзнянського району Чернігівської області товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) Чернігівбудрозвідування виконало на підставі технічного завдання та договору від 12 липня 2013 року, згідно з програмою робіт.

Цільовим призначенням робіт було вивчення інженерно-геологічних умов ділянки під будівництво на ній трьох силосів для зберігання зерна.

Під час проведення робіт були вивчені архівні матеріали, виконано рекогносцирувальне обстеження ділянки під заплановане будівництво, пробурено три свердловини глибиною 25–27 метрів, проведено зондування ґрунтів у трьох точках, пройдено шурфи-дудки. З лесових та лесоподібних ґрунтів були відібрані моноліти для визначення

їхніх механічних властивостей. Моноліти відібрані також з підлесової товщі для визначення їхніх фізичних властивостей. Хімічний склад та корозійні властивості води вивчено у трьох пробах ґрунтових вод.

Ділянка досліджень є складовою частиною Яготинської слабо розчленованої рівнини, що відповідає IV надзаплавній (моренній) терасі р. Дніпра. Гідрографічна мережа району вишукувань створена р. Доч з притоками, озерами, ставами в басейні р. Десни. Клімат району помірно континентальний, з нетривалою помірно м'якою зимою і тривалим літом (середня температура в січні  $-7^{\circ}\text{C}$ , в липні  $+19^{\circ}\text{C}$ ). Відносна середня вологість повітря за рік становить близько 79 %, середньорічна швидкість вітру – 2,7 м/сек. Опадів випадає 550-660 мм. Випаровування з поверхні землі досягає 450–520 мм/рік. Вітрове навантаження становить 410 Па, снігове – 1720 Па. Нормативна глибина промерзання ґрунтів становить 1,1 м.

Кліматичні, гідрологічні і геолого-геоморфологічні умови району сприяють місцевому формуванню ґрунтових вод. Глибина залягання їх змінюється від 1 до 3 м на терасах, від 5 до 9 м на вододілах.

За тектонічними районуванням територія досліджень знаходиться в північно-західній частині Дніпровсько-Донецької западини, де товщина осадових порід становить понад 2000 м.

Геологія ділянки за результатами наших вишукувань розвідана до глибини 27 м. Розкритий свердловинами розріз (рис. 1, 2, 3) складений сучасними техногенними утвореннями, верхньочетвертинними подовими, верхньочетвертинними еолово-делювіальними, середньочетвертинними флювіогляціальними та середньо-нижньочетвертинними відкладами.

Сучасні техногенні утворення (насипаний шар – tIV) поширені скрізь і складені супісками з включенням щебеню та щебенем з супіщаним наповненням. Товщина шару змінюється від 0,3 до 0,9 м.

Верхньочетвертинні подові відклади (р III) мають обмежене поширення у пониженій південно-східній частині ділянки. Вони складені важкими пілуватими суглинками товщиною до 2,1 м.

Верхньочетвертинні еолово-делювіальні відклади бузького горизонту (vdIII) bq поширені скрізь. У їх складі виділені лесові пілуваті супіски та суглинки, що розділені на три шари загальною товщиною до 4,5 м.

Середньочетвертинні флювіогляціальні відклади (fII) поширені скрізь. Це легкі піщаністі суглинки та супіски з прошарками пілуватих пісків. Загальна їх товщина досягає 4,5–5,0 м.

Середньо-нижньочетвертинні відклади (aI-II) поширені скрізь і складені легкими та важкими пілуватими суглинками, подекуди пілуватими глинами, легкими супісками та пілуватими пісками. У верхній частині відкладів знаходяться ґрунти з включенням органічних речовин.



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Геодекс	Товщина шару, м	Глибина підшви шару, м	Позначка підшви шару, м	Геолого-літологічний розріз	Відомості про воду	Відомості про проби	Номер ІГЕ	Найменування ґрунтів
t IV	0.40	0.40	97.44				1	Насипний ґрунт
e IV	0.60	1.00	96.84				2	Ґрунтово-рослинний шар
vd III bq	2.00	3.00	94.84			▲ 1.50 ▲ 2.00 ▲ 2.50	4	Суглинок легкий, пилуватий, жовто-сірий, лесоподібний, просідний, твердий
vd III pl	0.80	3.80	94.04			▲ 3.50	5	Супісок пилуватий, лесоподібний, темно-бурувато-сірий, просідний, твердий з домішками органічних речовин
vd III ts	1.80	5.60	92.24			▲ 4.50 ▲ 5.00	6	Супісок пилуватий, лесоподібний помаранчово-сірий, просідний, твердий
f II dn	3.40	9.00	88.84		▼ 6.50 29.07.13	▲ 6.00	7	Суглинок, легкий, піщанистий, жовтувато-сірий, напівтвердий
	1.40	10.40	87.44			▲ 8.00		
a I-II						▲ 10.00	8	Супісок піщанистий, жовтувато-сірий, пластичний
	3.10	13.50	84.34		▲ 11.50 ▲ 13.00	10	Супісок пилуватий, ясно-сірий, пластичний	
	1.50	15.00	82.84		▲ 14.50	11	Суглинок легкий, пилуватий, сірий, напівтвердий з домішками органічних речовин	
	1.70	16.70	81.14		▲ 16.00	12	Глина легка, пилувата, зеленувато-сіра, на повітрі темно-сіра, напівтверда з домішками органічних речовин	
	0.60	17.30	80.54		▲ 17.00	13	Суглинок важкий, пилуватий, тугопластичний з домішками органічних речовин	
	1.10	18.40	79.44		▲ 18.00	11	Суглинок легкий, пилуватий, сірий, напівтвердий з домішками органічних речовин	
	1.40	19.80	78.04		▲ 19.00	13	Суглинок важкий, пилуватий, напівтвердий з домішками органічних речовин	
	0.70	20.50	77.34		▲ 20.00 ▲ 20.50	14	Суглинок легкий, пилуватий текучо-пластичний з вмістом органічних речовин	
	1.30	21.80	76.04		▲ 21.50	16	Пісок пилуватий, щільний, насичений водою	
	3.20	25.00	72.84		▲ 23.00 ▲ 24.00 ▲ 25.00	17	Суглинок легкий, напівтвердий	

Рис. 1. Розріз розкритий св. 25, вертикальний масштаб 1:100

Геодекс	Товщина шару, м	Глибина підшови шару, м	Позначка підшови шару, м	Геолого-літологічний розріз	Відомості про воду	Відомості про проби	Номер ІГЕ	Найменування ґрунтів	
t IV	0.40	0.40	96.76				1	Насипний ґрунт	
e IV	0.30	0.70	96.46					2	ґрунтового-рослинний шар
p III	0.50	1.20	95.96				▲ 1.00	3	Суглинок важкий, пилуватий, оливково-жовто-сірий, твердий
vd III bq							▲ 2.00	4	Суглинок легкий, пилуватий, жовто-сірий, лесоподібний просідний, твердий
	1.40	2.60	94.56						
vd III pl	0.70	3.30	93.86				▲ 3.00 ▲ 3.50	5	Супісок пилуватий, лесоподібний темно-бурувато-сірий, просідний, пластичний з домішками органічних речовин
vd III ts							▲ 4.50 ▲ 5.30	6	Супісок пилуватий, лесоподібний помаранчово-сірий, просідний, твердий
	1.40	4.70	92.46				▲ 5.40 ▲ 5.50	8	Супісок піщанистий, жовтувато-сірий, твердий
f II dn						± 6.40 30.07.13			
	1.65	6.35	90.81				▲ 7.00 ▲ 7.10 ▲ 7.20 ▲ 7.30	7	Суглинок, легкий, піщанистий, жовтувато-сірий, напівтвердий та м'якопластичний
	1.35	7.70	89.46				▲ 8.30 ▲ 8.40 ▲ 8.50	8	Супісок піщанистий, жовтувато-сірий, пластичний
	2.10	9.80	87.36				▲ 10.00 ▲ 10.10 ▲ 10.20	10	Супісок пилуватий, ясно-сірий, пластичний
	2.30	12.10	85.06				▲ 12.50 ▲ 13.00 ▲ 13.10 ▲ 13.20 ▲ 13.50 ▲ 14.00 ▲ 14.10 ▲ 14.20	11	Суглинок легкий, пилуватий, ясно-сірий, зеленувато-сірий, сірий, напівтвердий та тугопластичний з домішками органічних речовин
	2.90	15.00	82.16				▲ 14.50 ▲ 15.10 ▲ 15.20 ▲ 15.30		
	1.10	16.10	81.06				▲ 15.50	12	Глина легка, пилувата, зеленувато-сіра, напівтверда з 15,5 м тверда включає домішки органічних речовин
a I-II	0.80	16.90	80.26				▲ 16.50 ▲ 17.00 ▲ 17.10 ▲ 17.20	11	Суглинок легкий, пилуватий, ясно-сірий, м'якопластичний з домішками органічних речовин
	1.00	17.90	79.26				▲ 17.50	13	Суглинок важкий, пилуватий, напівтвердий з домішками органічних речовин
						▲ 18.50	14	Суглинок легкий, пилуватий, напівтвердий з вмістом органічних речовин	
	1.50	19.40	77.76						
	0.70	20.10	77.06			▲ 20.00 ▲ 20.30	15	Супісок пилуватий, пластичний з домішками органічних речовин	
	1.00	21.10	76.06			▲ 21.00	16	Пісок пилуватий, щільний, насичений водою	
						▲ 22.00	17	Суглинок легкий, напівтвердий	
	1.90	23.00	74.16						
	1.20	24.20	72.96			▲ 23.50	18	Суглинок важкий, пилуватий, напівтвердий з вмістом органічних речовин	
	2.00	26.20	70.96			▲ 24.50	19	Супісок легкий, пилуватий, текучий	
	0.80	27.00	70.16			▲ 26.50	17	Суглинок легкий, напівтвердий	

Рис. 2. Розріз розкритий св. 26, вертикальний масштаб 1:100

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Геодіагн	Товщина шару, м	Глибина підшви шару, м	Позначка підшви шару, м	Геолого-літологічний розріз	Відомості про воду	Відомості про проби	Номер ІГЕ	Найменування ґрунтів	
e IV	0.10	0.10	97.08				1	Насипний ґрунт	
e IV	0.80	0.90	96.28				▲ 1.00	2	ґрунтово-рослинний шар
vd III bq	1.50	2.40	94.78				▲ 1.20	4	Суглинок легкий, пилуватий, жовто-сірий, лесовидний, просідний, напівтвердий
vd III ts	1.60	4.00	93.18				▲ 2.50 ▲ 3.00 ▲ 3.50 ▲ 4.00	6	Супісок пилуватий, лесоподібний помаранчово-сірий, просідний, твердий
f II dn						▼ 6.35 31.07.13	▲ 5.00 ▲ 6.00 ▲ 7.00 ▲ 8.00	8	Супісок піщанистий, жовтувато-сірий, жовтувато-бурий, пластичний
	4.60 0.30	8.60 8.90	88.58 88.28				▲ 8.70	9	Пісок пилуватий, щільний, насичений водою
							▲ 9.50		
	3.00	11.90	85.28				▲ 11.00	10	Супісок пилуватий, ясно-сірий, пластичний
							▲ 12.50 ▲ 14.00	11	Суглинок легкий, пилуватий, ясно-сірий, зеленувато-сірий, сірий, напівтвердий з домішками органічних речовин
a I-II	2.80	14.70	82.48				▲ 15.00 ▲ 16.00 ▲ 17.50	13	Суглинок важкий, пилуватий, напівтвердий з домішками органічних речовин
	3.80	18.50	78.68				▲ 19.00	14	Суглинок легкий, пилуватий напівтвердий з вмістом органічних речовин
	1.70	20.20	76.98				▲ 20.50	15	Супісок пилуватий, пластичний з домішками органічних речовин
	0.60	20.80	76.38				▲ 21.50	16	Пісок пилуватий, щільний, насичений водою
	0.90	21.70	75.48				▲ 22.00 ▲ 23.00 ▲ 24.00	17	Суглинок легкий, напівтвердий
	3.30	25.00	72.18				▲ 25.00		

Рис. 3. Розріз розкритий св. 27, вертикальний масштаб 1:100

Гідрогеологічні умови ділянки вишукувань характеризуються поширенням витриманого горизонту ґрунтових вод, рівень яких встановлений на глибині 6,35–6,50 м від денної поверхні, що відповідає умовним позначкам 90,8–91,3 м. Джерелом живлення ґрунтових вод є атмосферні опади. Вмістилищами води є флювіогляціальні легкі піщанисті суглинки з прошарками супісків та легкі піщанисті алювіальні суглинки і супіски, а місцевими водотривами – важкі алювіальні суглинки і глини. Амплітуда коливань рівня ґрунтових вод у багаторічному режимі складає до 3,5 м. Характер нашарувань, фільтраційна неоднорідність та іноді пластичний стан ґрунтів у верхній частині розрізу свідчить про можливість утворення тимчасових локальних горизонтів ґрунтових вод типу «верховодки» над покрівлею подових важких суглинків у часи рясних дощів та інтенсивного сніготанення.

За хімічним складом ґрунтового води, за всіма показниками, не агресивні до конструкцій з бетону всіх марок, азбестоцементних конструкцій та цементно-кладочних розчинів. До арматури залізобетонних конструкцій підземні води слабоагресивні за вмістом хлоридів при періодичному змочуванні, до металевих конструкцій – середньоагресивні за сумарною концентрацією сульфатів, хлоридів та водневим показником рН.

Фізико-механічні властивості ґрунтів (таблиця) визначалися у лабораторіях на зразках непорушеної (моноліти) та порушеної структури згідно з діючими державними стандартами [1–16].

На зразках з непорушеною структурою в лабораторіях визначалися такі фізичні властивості ґрунтів, як природна вологість, щільність, пористість, деформація, а на зразках з порушеною – консистенція глинистих ґрунтів, втрата маси їх при прожарюванні та гранулометричний склад піщаних ґрунтів.

Отримані показники властивостей ґрунтів за результатами та даних статичного зондування використовувалися для поділу товщі ґрунтів на інженерно – геологічні елементи (ІГЕ) за ДСГУ Б.В.2.1-5-96 (Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань) [1].

У геоморфологічному розумінні ділянка вишукувань знаходиться, як зазначалося, на IV надзаплавній (моренній) терасі р. Дніпра. Рельєф ділянки технологічний (штучно спланований насипними ґрунтами). Для нього характерне коливання висотних відміток до 1,0 м.

Таблиця

*Зведена інженерно-геологічна колонка з таблицею нормативних та розрахункових значень показників властивостей ґрунтів*

Індекс генезиса і вік ґрунту	Літологічний розріз і номер інженерно-геологічного елементу	Назва ґрунту згідно ДСТУ Б В.2.1-2-96	Природна вологість					
			Границя текучості	Границя розривання	Число пластичності	Показник текучості	Щільність часток ґрунту	
			W	W <sub>L</sub>	W <sub>p</sub>	I <sub>p</sub>	I <sub>c</sub>	ρ <sub>s</sub>
допі одиниць								
t IV		Насипний ґрунт						
e IV		ґрунтово-рослинний шар						
p III		Суглинок важкий, пилуватий, оливово-жовто-сірий, твердий	0,16	0,37	0,22	0,15	<0	2,72
vd IIIbq		Суглинок пилуватий, лесовидний, жовто-сірий, просідний, твердий та напівтвердий	0,22 0,28	0,32	0,22	0,10	0	2,70
vd IIIpl		Супісок пилуватий, лесовидний, темно-бурувато-сірий, просідний, твердий та пластичний з домішками органічних речовин	0,20 0,24	0,24	0,19	0,05	0,20	2,68
vd II ts		Супісок пилуватий, лесовидний, просідний, твердий	0,18 0,26	0,26	0,20	0,06	<0	2,69
f II dn		Суглинок легкий, піщанистий, напівтвердий та м'якопластичний	0,18	0,24	0,14	0,10	0,38	2,70
		Супісок піщанистий, твердий та пластичний	0,15	0,20	0,14	0,06	0,09	2,68
		Пісок пилуватий, щільний, насичений водою	0,16					2,66
a II		Супісок пилуватий, пластичний	0,23	0,26	0,21	0,05	0,31	2,68
		Суглинок легкий, пилуватий, напівтвердий, м'яко-та тугопластичний з домішками органічних речовин	0,24	0,31	0,21	0,10	0,29	2,70
		Глина тверда та напівтверда з домішками органічних речовин	0,22	0,43	0,22	0,21	0,14	2,73
		Суглинок важкий пилуватий, напівтвердий та тугопластичний з домішками органічних речовин	0,25	0,35	0,21	0,14	0,26	2,72
		Суглинок легкий, пилуватий, напівтвердий та текучопластичний з вмістом органічних речовин	0,21	0,28	0,18	0,10	0,36	2,70
		Супісок пилуватий, пластичний з вмістом органічних речовин	0,16	0,20	0,15	0,06	0,28	2,68
		Пісок пилуватий, щільний, насичений водою	0,17					2,66
		Суглинок легкий, напівтвердий	0,23	0,28	0,20	0,08	0,32	2,69
		Суглинок важкий, пилуватий з вмістом органічних речовин	0,27	0,38	0,24	0,14	0,21	2,71
	Супісок легкий, пилуватий, текучий	0,27	0,26	0,20	0,06	1,17	2,69	

**Нормативні та розрахункові показники ґрунтів наведені згідно ДБН В.2.1-10-2009 додаток В та даних статичного зондування**

**Показники ґрунтів в чисельнику наведені у природному стані, у знаменнику у насиченому водою**

Нормативні значення ґрунтів									Розрахункові значення ґрунтів									
Щільність ґрунту	Щільність сухого ґрунту	Пористість, %	Коефіцієнт пористості	Ступінь вологості	Вологість повної	Кут внутрішнього тертя	Питома зчеплення	Модуль деформації	Питома вага ґрунту	Кут внутрішнього тертя		Питома зчеплення		Умовний розрахунковий тиск	Початковий просідний тиск	Відносна просідність при зоскПа	Опір ґрунту під встав зснду	Найб. пунктів ДБН Д. 2.2-1:99 в залежності від трудності розробки
$\rho$	$\rho_d$	$n$	$e$	$w_f$	$w_{nat}$	$\phi_k$	$c_k$	$E_{повн}$ $E_{вод}$	$\gamma^*$	$\phi^*$	$\phi'$	$c'$	$c'$	$R_y$	$R_d$	$\epsilon_{st}$	$q_c$	
г/см <sup>3</sup>			долі одиниць			Град	кПа	МПа	кН/м <sup>3</sup>	град			кПа			%	МПа	
									19,8±0,3									5в
									17,1±0,3									5б
1,83	1,58	0,42	0,72	0,59	0,27	21	11	7,5	18,3±0,1	21	18	11					1,1	35в
$\frac{1,71}{1,79}$	1,40	0,48	0,94	$\frac{0,65}{0,80}$	0,35	14	8	$\frac{7,5}{3,0}$	$\frac{17,1±0,7}{17,9±0,7}$	14	13	8	8	$\frac{300}{185}$	91	4,1	0,8	35в
$\frac{1,79}{1,85}$	1,49	0,44	0,80	$\frac{0,67}{0,80}$	0,30	14	9	$\frac{7,5}{3,7}$	$\frac{17,9±0,3}{18,5±0,3}$	14	14	9	9	$\frac{300}{170}$	75	3,4	1,3	36б
$\frac{1,71}{1,89}$	1,45	0,46	0,85	$\frac{0,56}{0,80}$	0,32	19	13	$\frac{8,0}{3,6}$	$\frac{17,1±0,5}{18,9±0,5}$	19	18	13	13	$\frac{300}{165}$	115	1,7	1,7	35в
2,04	1,68	0,38	0,61	0,95	0,22	30	22	22	20,4±0,9	30	26	22	14	250			3,9	35б
1,98	1,75	0,35	0,54	0,69	0,20	26	15	22	19,8±0,2	26	22	15	10	290			4,5	35в
2,12	1,83	0,31	0,45	0,94	0,17	36	8	39	21,2±0,2	36	32	8	5	150			35,8	29а
2,02	1,65	0,38	0,62	0,96	0,23	25	13	20	20,2±0,2	25	21	13	8	240			4,9	36а
1,98	1,58	0,41	0,71	0,95	0,26	18	10	34	19,8±0,2	18	15	10	6	180			6,1	35б
2,00	1,60	0,41	0,71	0,97	0,26	54	19	28	20,0±0,2	54	47	19	12	250			6,9	8д
1,94	1,51	0,44	0,80	0,97	0,29	19	8	32	19,4±0,2	19	16	8	5	160			6,4	35в
2,06	1,70	0,37	0,59	0,95	0,22	34	13	34	20,6±0,2	34	29	13	8	215			6,6	35в
2,13	1,84	0,31	0,46	0,94	0,17	30	10	32	21,3±0,2	30	26	10	6	300			8,7	36а
2,15	1,83	0,31	0,45	1,00	0,17	36	8	39	21,5±0,2	36	32	8	5	150			29,6	29а
2,04	1,66	0,38	0,62	1,00	0,23	32	24	23	20,4±0,3	34	29	24	16	220				35в
1,96	1,54	0,43	0,76	0,96	0,28	23	10	11	19,6±0,3	23	20	10	6	160				35в
1,97	1,55	0,42	0,73	1,00	0,27	20	5	7	19,7±0,3	20	17	5	3	160				36а

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

За номенклатурою, складом, станом та фізико-механічними властивостями на території вишукувань виділено 19 шарів і стільки ж інженерно-геологічних елементів. Останні мають таку характеристику:

ІГЕ1. Насипний шар – щебінь з супіщаним наповнювачем.

ІГЕ2. Грунтово-рослинний шар (деградований), похований під грунтами ІГЕ1.

ІГЕ3. Суглинок важкий, пилуватий, оливово-жовто-сірий, твердий.

ІГЕ4. Супісок пилуватий, лесоподібний, жовто-сірий, просідний, твердий.

ІГЕ5. Супісок пилуватий, лесоподібний, темно-бурувато-сірий, просідний, твердий та пластичний з домішками органічних речовин.

ІГЕ6. Суглинок пилуватий, лесоподібний, помаранчево-сірий, просідний, твердий.

ІГЕ7. Суглинок легкий, піщанистий, жовтувато-сірий, напівтвердий та м'якопластичний.

ІГЕ8. Супісок піщанистий, жовтувато-сірий та жовтувато-бурий, твердий та пластичний.

ІГЕ9. Пісок пилуватий, щільний, ясно-сірий, насичений водою.

ІГЕ10. Супісок пилуватий, ясно-сірий, пластичний.

ІГЕ11. Суглинок легкий, пилуватий, ясно-сірий, напівтвердий, м'яко- та тугопластичний, з домішками органічних речовин.

ІГЕ12. Глина легка, пилувата, зеленувато-сіра, на повітрі – темно-сіра, тверда та напівтверда з домішками органічних речовин.

ІГЕ13. Суглинок важкий, пилуватий, напівтвердий та тугопластичний з домішками органічних решток.

ІГЕ14. Суглинок легкий, пилуватий, напівтвердий та текучопластичний з вмістом органічних речовин.

ІГЕ15. Супісок пилуватий, пластичний з вмістом органічних речовин.

ІГЕ16. Пісок пилуватий, щільний, насичений водою.

ІГЕ17. Суглинок легкий, напівтвердий.

ІГЕ18. Суглинок важкий, пилуватий, з вмістом органічних речовин.

ІГЕ19. Супісок легкий, пилуватий, текучий.

Характер нашарувань та заміщення інженерно-геологічних елементів відображено на розрізах 1-1, 2-2 та 3-3 (рис. 4, 5, 6).

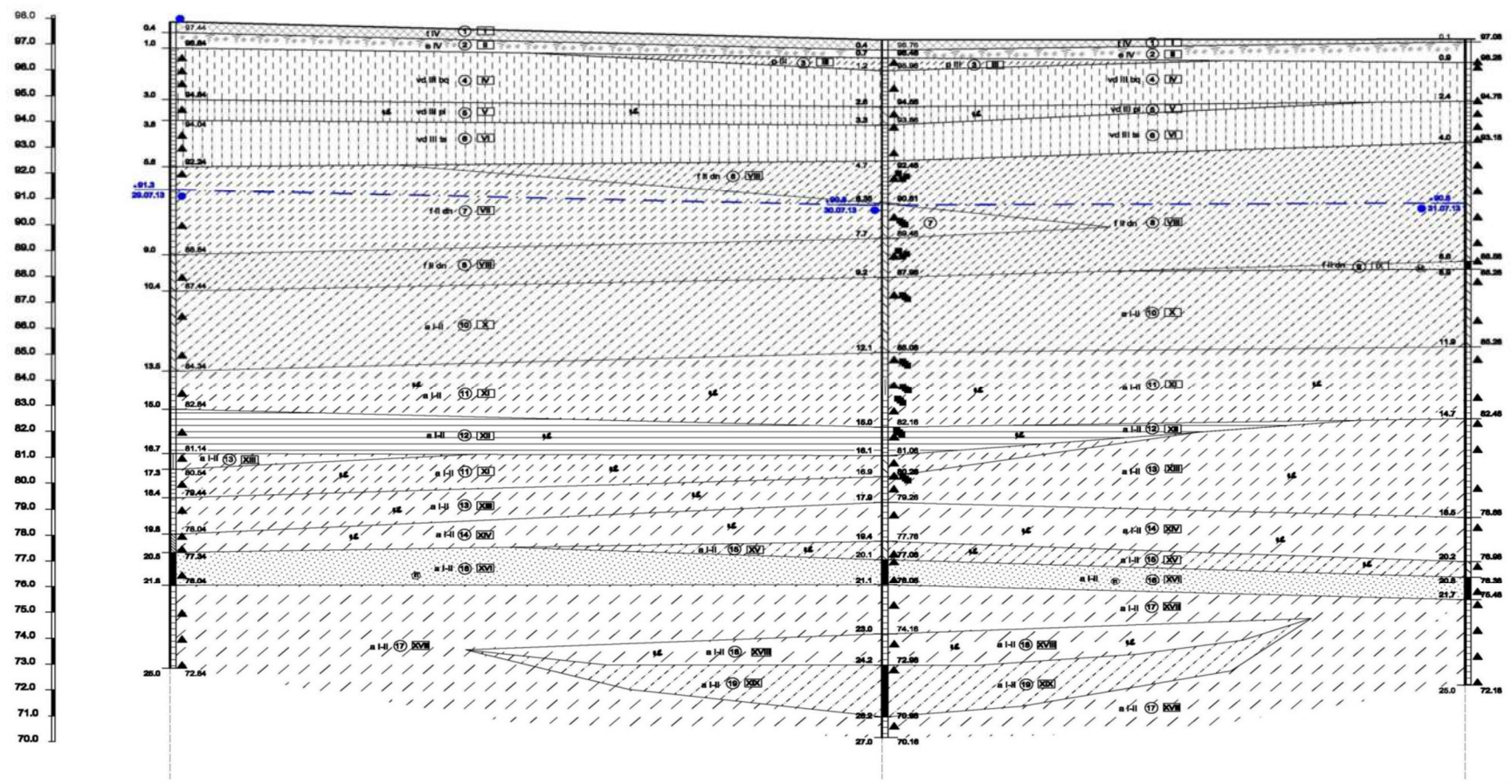
Особливостями інженерно-геологічних умов ділянки є наявність у верхній частині розрізу лесових просідних ґрунтів у ІГЕ4-6, наявність у розрізі слабих ґрунтів (суглинки з вмістом органічних речовин, текучі ґрунти), можливість утворення локальних горизонтів ґрунтових вод типу «верховодки» у верхній частині розрізу.

Ґрунтові умови за просіданням віднесені до типу ІІ (просідання при додаткових навантаженнях).

Ґрунти, що складають товщу на ділянці вишукувань, згідно з ДБН В.1.1-12-2006 [16] відносяться до ІІ та ІІІ категорій за сейсмічними властивостями. Сейсмічність району становить 5 балів.

Під час проведення вишукувань прояву негативних інженерно-геологічних процесів не встановлено.





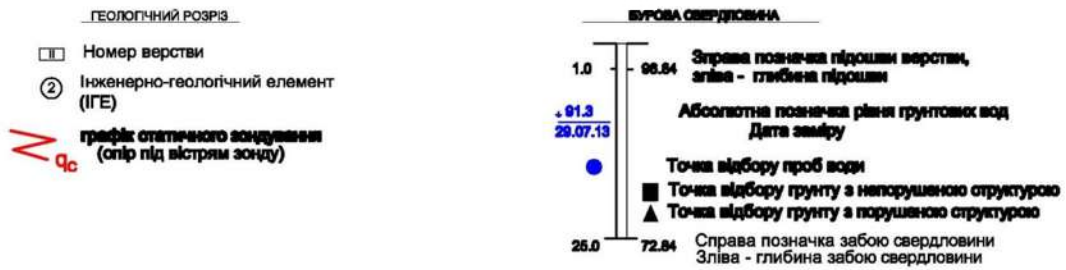
Найменування та №№ виробок	сврд 25	сврд 26	сврд 27
Абс. позначка гирла, (м)	85	85	81,25
Відстань (м)	46,5	38,0	

- СТРАТИГРАФІЯ
- t IV сучасні техногенні відклади
  - a IV сучасні алювіальні відклади
  - p III верхньочетвертинні піщаві відклади
  - vd III bd верхньочетвертинні осередково-делювіальні відклади бурлячого горизонту
  - vd III pl верхньочетвертинні осередково-делювіальні відклади придульного горизонту
  - vd III la верхньочетвертинні осередково-делювіальні відклади трясиняного горизонту
  - t II dn середньочетвертинні флішоподібні відклади дніпровського часу
  - a I-II нижньо-середньочетвертинні алювіальні відклади IV надзатоплених терас р. Дніпро

Рис. 4. Геологічний розріз 1-1'



УМОВНІ ЗНАКИ



ВОЛОГІСТЬ ТА КОНСИСТЕНЦІЯ ҐРУНТІВ



Рис. 4. Продовження – Умовні знаки (див. також с. 229)

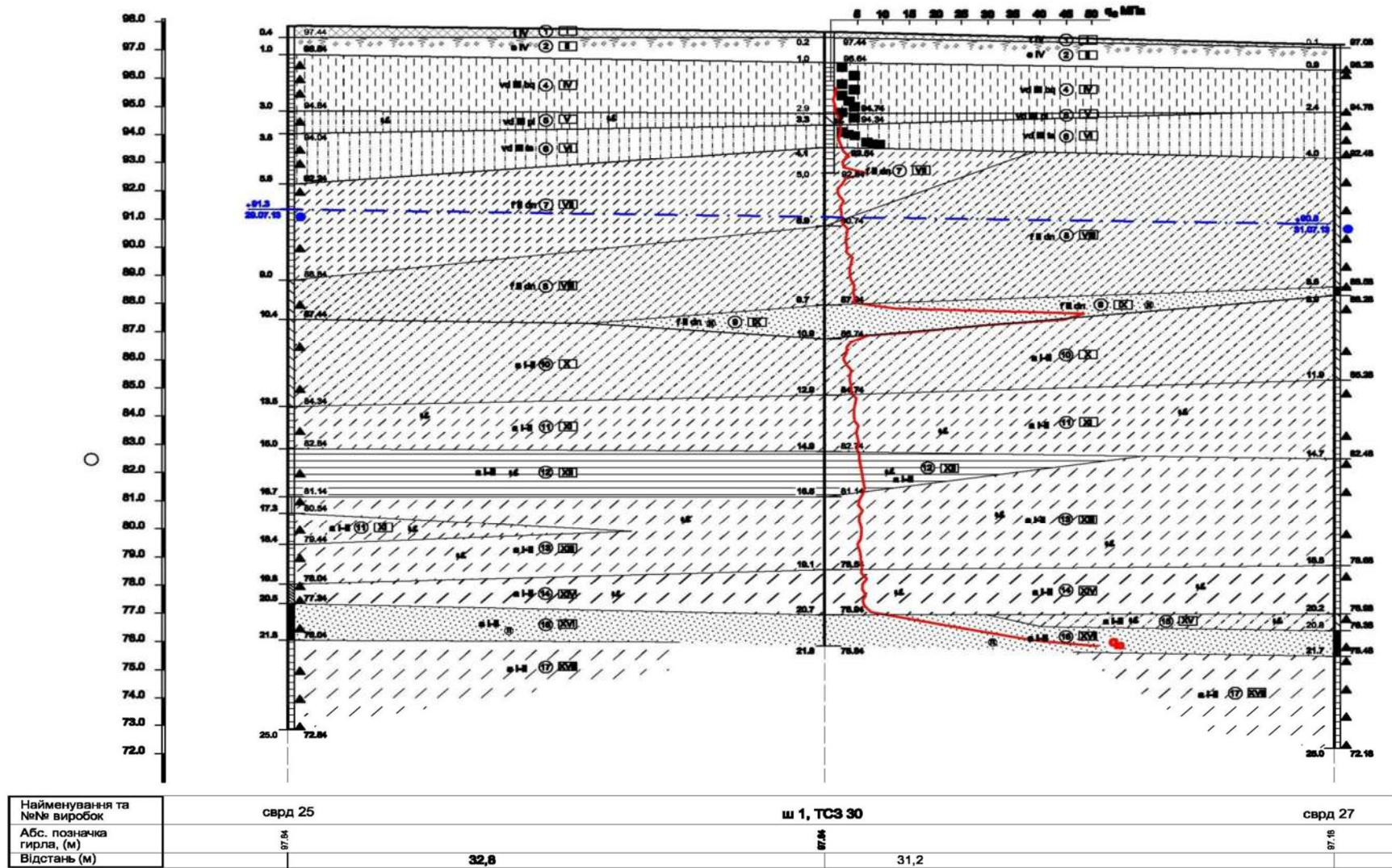


Рис. 5. Геологічний розріз 2-2' (умовні знаки див. рис.4)





До негативних інженерно-геологічних процесів та явищ, які можуть з'явитися або активізуватися при будівництві або експлуатації споруд, що проектуються, потрібно віднести такі:

- можливість накопичення поверхневих вод у будівельних котлованах виритих у ґрунтах ІГЕ 3-6;
- можливість накопичення атмосферних та талих вод у пазухах котлованів після закладання фундаментів;
- наявність у зоні можливої взаємодії споруд з геологічним середовищем просідних ґрунтів ІГЕ 4-6 та слабких пластичних ґрунтів.

Горизонт ґрунтових вод розкритий свердловинами на глибині 6,35-6,50 м від денної поверхні. Амплітуда коливань цих глибин у багаторічному режимі становить 3,5 м. При вишукуваннях рівень ґрунтових вод був близький до середньорічного. Можливість підтоплення ділянки підземними водами мінімальна.

При рясних дощах та інтенсивному таненні снігу або при значних втратах води з водопровідних комунікацій можливе утворення локальних тимчасових горизонтів тупу «верховодки» над рівнем ґрунтових вод. У подових зниженнях застоюються поверхневі води.

У цих інженерно-геологічних та гідрогеологічних умовах потрібно передбачити надійні конструкційні заходи з організації відведення поверхневих вод, заходи з запобігання витоків із водопровідних конструкцій, гідроізоляцію підземної частини споруд та інші заходи, передбачені ДБН В.1.1-5-2000.

#### **Висновки та рекомендації.**

1. Район розвідування знаходиться на ІV надзаплавній моренній терасі р. Дніпра.
2. Товща ґрунтів на ділянці неоднорідна. В будові ділянки до розвіданої глибини 27 м беруть участь верхньочетвертинні флювіогляціальні, середньо-нижньочетвертинні алювіальні глинисті відклади з прокладками пісків. Вони покриті насипними ґрунтами та деградованим ґрунтово-рослинним шаром.
3. За результатами гідрогеологічних досліджень на ділянці розкрито витриманий горизонт ґрунтових вод на рівні 6,35-6,50 м. Він живиться інфільтрованими атмосферними опадами. Водовмісними ґрунтами є флювіогляціальні легкі піщанисті суглинки і супіски та пілуваті алювіальні суглинки, супіски та піски. Важкі алювіальні суглинки та глини є місцевими водотривами. Коливання рівня ґрунтових вод у багаторічному режимі становить до 3,5 м. Характер нашарувань, фільтраційна неоднорідність та іноді пластичний стан ґрунтів вгорі розрізу свідчать про можливість формування тимчасових локальних горизонтів ґрунтових вод типу «верховодки» під час рясних дощів та сніготанення подових важких суглинків.
4. У цих інженерно-геологічних умовах для споруд з великим навантаженням на основу, враховуючи щільнісну неоднорідність ґрунтів вгорі розрізу та наявність у розрізі слабких пластичних ґрунтів, рекомендується пальовий фундамент, найдоцільніший з геологічного погляду.
5. Для споруд з невеликим навантаженням на фундамент (до 20 т/м<sup>2</sup>) рекомендується плитний фундамент.
6. За сукупністю факторів, що містяться в додатку ЖДБН А.2.1-1-2008 та ДБН В.2.1-10-2009 [4; 3] територія вишукувань належить до ІІІ (складної) категорії інженерно-геологічних умов.

#### **Список використаних джерел**

1. ДСТУ Б В.2.1-5-2001. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.
2. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація.
3. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. ДБН А.2.1-1-2008. Інженерні вишукування для будівництва.
5. ДСТУ Б В.2.1-17:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей.
6. ДСТУ Б В.2.1-8-2001. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків].
7. ДСТУ Б В.2.1-19:2009. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) і мікроагрегатного складу.
8. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості.
9. ДСТУ ІБО 5667-11:2005. Відбирання проб. Частина 11. Настанови щодо відбирання проб підземних вод.
10. ДСТУ Б В.2.1-9-2002. Ґрунти. Методи польових випробувань статичним і динамічним зондуванням.
11. ДСТУ Б А. 1.1-25-94. Система стандартизації та нормування в будівництві Ґрунти. Терміни та визначення.
12. ДСТУ Б А.2.4-13:2009. Умовні графічні зображення та умовні позначки в документації з інженерно-геологічних вишукувань).
13. ДСТУ Б А.2.4.-4:2009. СПДБ. Основні вимоги до проектної та робочої документації.
14. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів, Навантаження та впливи. Норми проектування.
15. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.
16. ДБН В.1.1-12:2006. Будівництво у сейсмічних районах України.

**References**

1. DSTU B V.2.1-5-2001. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody statystychnoi obrobky rezultativ vyprobuvannia. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. The methods of statistical analysis of the test results].*
2. DSTU B V.2.1-2-96. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Klasyfikatsiia. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Classification].*
3. DBN V.2.1-10-2009. *Osnovy ta fundamenti sporud. [Bases and foundations of buildings].*
4. DBN A.2.1-1-2008. *Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva. [Engineering survey for construction].*
5. DSTU B V.2.1-17:2009. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud.. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostei. [Bases and foundations of buildings and structures .. Soils. Methods of laboratory determination of physical properties].*
6. DSTU B V.2.1-8-2001. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Vidbyrannia, upakuvannia, transportuvannia i zberihannia zrazkiv. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Sampling, packaging, transportation and storage of samples].*
7. DSTU B V.2.1-19:2009. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia hranulometrychnoho (zernovoho) i mikroahrehatnoho skladu. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of particle size (grain) and mikroahregative composition].*
8. DSTU B V.2.1-4-96. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti ta deformovanosti. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformation characteristics].*
9. DSTU ІБО 5667-11:2005. *Vidbyrannia prob. Chastyna 11. Nastanovy shchodo vidbyrannia prob pidzemnykh vod. [Sampling. Part 11 Guidance on sampling of groundwater].*
10. DSTU B.V.2.1-9-2002. *Grunty. Metody polovykh vyprobuvannia statychnym i dynamichnym zonduvanniam. [Soils. Methods field trials static and dynamic probing].*
11. DSTU B А. 1.1-25-94. *Systema standartyzatsii ta normuvannia v budivnytstvi Grunty. Terminy ta vyznachennia. [The system standardization and normalization in the construction of Soils. Terms and definitions].*

12. DSTU B A.2.4-13:2009. *Umovni hrafichni zobrazhennia ta umovni poznachky v dokumentatsii z inzhenerno-heolohichnykh vyshukuvan. [Conventional graphics and explanations in the documentation of the geotechnical survey].*

13. DSTU B A.2.4.-4:2009. *SPDB. Osnovni vymohy do proektnoi ta robochoi dokumentatsii. [Basic requirements for the design and documentation].*

14. DBN V.1.2-2:2006. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv, Navantazhennia ta vplyvy. Normy proektuvannia. [System reliability and safety of construction projects, Shipping and influences. Design standards].*

15. DSTU-N B V.1.1-27:2010. *Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. [Protection from dangerous geological processes, operational harmful effects of fire. Construction climatology].*

16. DBN V.1.1-12:2006. *Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy. [Construction in seismic regions of Ukraine].*

*Viktor Buhay, Volodymyr Ivanyshyn, Valentyn Dudko*

## ENGINEERING-GEOLOGICAL RECONNAISSANCE OF SURFACE FOR AN ELEVATOR CONSTRUCTION

**Urgency of the research.** *The subject is very urgent because the engineering-geological reconnaissance for construction of any building or structure is obligatory. The construction does not start without it. It contains recommendations for the constructors.*

**Target setting.** *Quaternary deposits cover almost all of the Chemihiv's region territory. The majority of buildings and structures are constructed on them. However, they are understudied, which is a construction problem.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Engineering-geological reconnaissance was not performed on the surface under consideration, therefore the issues are missing.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *The uninvestigated part is the absence of engineering-geological reconnaissance of surface for an elevator construction.*

**The research objective.** *The target figure of the works was the research of the surface for construction of three siloes for com storage.*

**The statement of basic materials.** *The examined surface is a part of a Yahotyn poorly broken flat land, which belongs to a IV terrace above flood-plain of river Dnipro. According to the static penetration test and geological examination results, the geological structure of the surface is explored up to 27 meters depth. The discovered geological record is composed of present-day technogenic formations, Upper Quaternary deposits, Middle Quaternary deposits and Middle-Low Quaternary deposits. The sustained ground water surface is located at a depth of 6.35-6.50 meters. According to chemical composition, the ground waters are non-aggressive to constructions of all grades of concrete, asbestos-cement constructions and cement grouting. According to the nomenclature, composition, conditions and physical and mechanical properties 19 layers and the same amount of EGE (Engineering-geologic elements) are shredded out.*

**Conclusion.** *The research area is located on a IV terrace above flood-plain of river Dnipro. The thickness of the discovered soils is unequal. The ground waters are fed by infiltrated atmospheric precipitations. The groundwater level fluctuation in a longstanding mode is equal to 3,5m. According to the combination of factors, the research territory belongs to the III(complex) category of geological engineering conditions.*

**Key words:** *soils; survey; EGE (Engineering-geologic elements); exploration; well; water; elevator.*

*Виктор Бугай, Владимир Иванишин, Валентин Дудко*

## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ УЧАСТКА ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО ЭЛЕВАТОРОВ

*Тема чрезвычайно актуальна, так как инженерно-геологические изыскания (исследования) под строительство любого здания или сооружения обязательны. Без них не должно начинаться строительство. Они содержат рекомендации для строителей. Четвертичные отложения покрывают почти всю территорию Черниговщины. На них строится подавляющее большинство зданий и сооружений. Однако они изучены недостаточно, что является строительной проблемой.*

**Ключевые слова:** *почвы; изыскания; инженерно-геологические элементы; зондирование; скважина; вода; элеватор.*

**Бугай Віктор Григорович** – начальник відділу, ТОВ «Чернігівбудрозвідання» (просп. Миру, 233а, 14006, м. Чернігів, Україна).

**Бугай Виктор Григорьевич** – начальник отдела, ООО «Черниговстройразведывание» (просп. Мира, 233а, 14006, г. Чернигов, Украина).

**Buhay Viktor** – Head of Department, Ltd. «Chernihivbudrozviduvannya» (223a Myru Av., 14000, Chernihiv, Ukraine).  
E-mail: 691040@ukr.net

**Іванишин Володимир Андрійович** – доктор геологічних наук, професор, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Іванишин Владимир Андреевич** – доктор геологических наук, профессор, профессор кафедры геодезии, картографии та землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Ivanyshyn Volodymyr** – Doctor of Geological Sciences, Professor, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology, Honorary scout (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: gkz.kaf@gmail.com

**Дудко Валентин Іванович** – провідний інженер, ТОВ «Чернігівбудрозвідання» (просп. Миру, 233а, 14006, м. Чернігів, Україна).

**Дудко Валентин Іванович** – ведущий инженер, (просп. Мира, 233а, 14006, г. Чернигов, Украина).

**Dudko Valentyn** – lead Engineer, (223a Myru Av., 14000, Chernihiv, Ukraine).

E-mail: 691040@ukr.net

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-236-245

Олексій Терещук

## МЕТОДИКА РЕАЛІЗАЦІЇ СУПУТНИКОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ КІНЕМАТИЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПОЛІГОНІВ

**Актуальність теми дослідження.** Навчально-геодезичні полігони створювалися декілька десятиліть тому для забезпечення проведення навчальних практик студентів, наукових досліджень та відповідали своєму призначенню. Проте із застосуванням сучасних GNSS-приймачів та електронних тахеометрів потреба у модернізації геодезичних мереж згаданих полігонів стала очевидною.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку супутникових технологій координатного забезпечення все більше уваги приділяється досягненню високої точності результатів спостережень. Особливо це стосується проведення GNSS-спостережень на пунктах навчально-геодезичних полігонів, які створювалися тодішніми геодезичними технологіями кілька десятиків років тому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Навчально-геодезичні полігони створювалися на базах навчальних закладів, які мали відповідні ліцензовані напрями підготовки студентів з геодезії, землевпорядкування, будівництва, архітектури, тощо. Розміри та форми згаданих полігонів залежали від багатьох чинників, а в основному, від спроможностей навчального закладу та перспектив його розвитку, ліцензованого обсягу студентів цих напрямів підготовки і т. і. Так, з 1974 року створювалася база навчально-геодезичного полігону «Львівської політехніки», яка надзвичайно вдало розмістилася на мальовничому схилі вздовж Бережанського ставу та займає площу майже 9 га. Бережанський геодезичний полігон об'єднує понад сотню пунктів, які довший час використовувалися у навчальних та наукових цілях і повністю відповідали своєму призначенню. Проте із застосуванням сучасних GNSS-приймачів та електронних тахеометрів гостро постала потреба модернізації геодезичної мережі. Супутникові спостереження на геодезичній мережі полігону виконувалися протягом 1999-2008 рр. різними приладами та різною тривалістю. Подібні полігони з використанням супутникових технологій створювалися у різних місцях і мали за мету також метрологічну атестацію GPS-обладнання [1, 2].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** З часу створення мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ повторні геодезичні спостереження на полігоні не проводилися. Зважаючи на це та з метою модернізації існуючої геодезичної мережі нами були проведені повторні вимірювання та GNSS-спостереження на пунктах планово-висотної мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ «Фортуна». Так як пункти мережі розташовані у залісеній місцевості, особлива увага приділялася застосуванню та дослідженню супутникових технологій у режимі кінематики реального часу.

**Постановка завдання.** Головною метою цієї роботи передбачалося модернізувати існуючу мережу навчально-геодезичного полігону Чернівецького національного технологічного університету шляхом прокладання ходів електронної полігонометрії та реалізації сучасної методики супутникових спостережень в режимі кінематики реального часу.

**Виклад основного матеріалу.** Унікальність розташування геодезичного полігону на території історико-заповідного урочища о. Святого накладало додаткові умови щодо розробки програми спостережень, а саме, при відсутності можливості відмовлення видимостей між суміжними точками мережі компенсувалася закладанням додаткових пунктів. Спостереження на пунктах полігону проводилися в режимі реального часу GNSS – приймачем. Усі розрахунки координат виконувалися у програмному забезпеченні GeoMax X-PAD. Оцінку проекту полігонометричної мережі виконували за допомогою програмного забезпечення CREDO DAT 3.10. Визначення координат пунктів проводилося також шляхом прокладання тахеометричних ходів, при опрацюванні яких відносна похибка планового положення відповідає точності полігонометрії 4 класу. Проаналізовано також результати точності отриманих нами координат в RTK-режимі за критеріями коефіцієнта закритості горизонту.

**Висновки.** Для даних умов спостережень пунктів геодезичного полігону з унікальною локацією на території заповідника у залісеній місцевості краще використовувати класичні методи координатного забезпечення як такі, що забезпечують надійніші та точніші результати. При цьому точність спостережень в RTK-режимі у цих умовах залишається нижчою.

**Ключові слова:** полігони; GNSS-технології; тахеометричні ходи.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку супутникових технологій координатного забезпечення все більше уваги приділяється досягненню високої точності результатів спостережень. Особливо це стосується проведення GNSS-спостережень на пунктах навчально-геодезичних полігонів, які створювалися тодішніми геодезичними технологіями кілька десятиків років тому.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Навчально-геодезичні полігони здебільшого створювалися на базах навчальних закладів, які мали відповідні ліцензовані напрями підготовки студентів з геодезії, землевпорядкування, будівництва, архітектури тощо. Розміри та форми згаданих полігонів залежали від багатьох чинників, а в основному від спроможностей навчального закладу та перспектив його розвитку, ліцензованого обсягу студентів цих напрямів підготовки і т. ін.



Так, з 1974 року створювалася база навчально-геодезичного полігону «Львівської політехніки», яка надзвичайно вдало розмістилася на мальовничому схилі вздовж Бережанського ставу та займає площу майже 9 га.

Бережанський геодезичний полігон об'єднує понад сотню пунктів, які тривалий час використовувались у навчальних та наукових цілях і повністю відповідали своєму призначенню. Проте із застосуванням сучасних GNSS-приймачів та електронних тахеометрів потреба у модернізації геодезичної мережі стала очевидною.

Супутникові спостереження на геодезичній мережі полігону виконувалися протягом 1999–2008 рр. різними приладами та різною тривалістю. Зазначимо, що подібні полігони з використанням супутникових технологій створювалися у різних місцях і мали за мету метрологічну атестацію GPS-обладнання [1; 3].

При зрівнюванні мереж точність планових координат становила до  $\pm 4$  см, а висоти – до  $\pm 7$  см, що було неочікуваним результатом. Для покращення якості геодезичної мережі виконані певні переобчислення пунктів, що дало змогу одержати вищу точність та узгодженість результатів вимірів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Продовжуючи і надалі поглиблювати наукові здобутки у напрямку дослідження ефективності застосування супутникових технологій, вдосконалення методик спостережень та їх обробки, науковці Чернігівського національного технологічного університету (до 2014 року ЧДІЕУ) проводили у Північному регіоні України GNSS-кампанії з метою дослідження та аналізу впровадження програмних комплексів обробки даних статичного й кінематичного позиціонування [5; 9]. Врахування впливу різних чинників на точність визначення планових координат [4], дасть можливість виконати дослідження актуальних питань стійкості пунктів як Державної геодезичної мережі (ДГМ), так і пунктів локальних мереж [8; 6] на регіональному рівні для науково-дослідних цілей та точного забезпечення землеустрою і кадастру [11]. Важливим напрямом координатних визначень, у тому числі у Північному регіоні України, є забезпечення функціонування перманентної станції CNIV (Чернігів) протягом останніх десяти років [7].

З часу створення мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ повторні геодезичні спостереження на полігоні не проводилися. Зважаючи на це та з метою модернізації існуючої геодезичної мережі нами були проведені повторні вимірювання та GNSS-спостереження на пунктах планово-висотної мережі навчально-геодезичного полігону ЧНТУ «Фортуна». Оскільки пункти мережі розташовані у залісеній місцевості, особлива увага приділялася дослідженню супутникових технологій у режимі кінематики реального часу.

З досліджень [10] відомо, що крона деревної рослинності є природною перешкодою на шляху радіонавігаційних сигналів, спричиняючи «закритість» горизонту, багатошляховість поширення сигналу тощо, тим самим негативно впливаючи на ефективну роботу приймачів та зменшуючи точність вимірювань. Для дослідження поставленої задачі у таких несприятливих умовах нами розглядалися наземні та супутникові програми спостережень.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи передбачалося модернізувати існуючу мережу навчально-геодезичного полігону Чернігівського національного технологічного університету шляхом прокладання ходів електронної полігонометрії та реалізації сучасної методики супутникових спостережень у режимі кінематики реального часу.

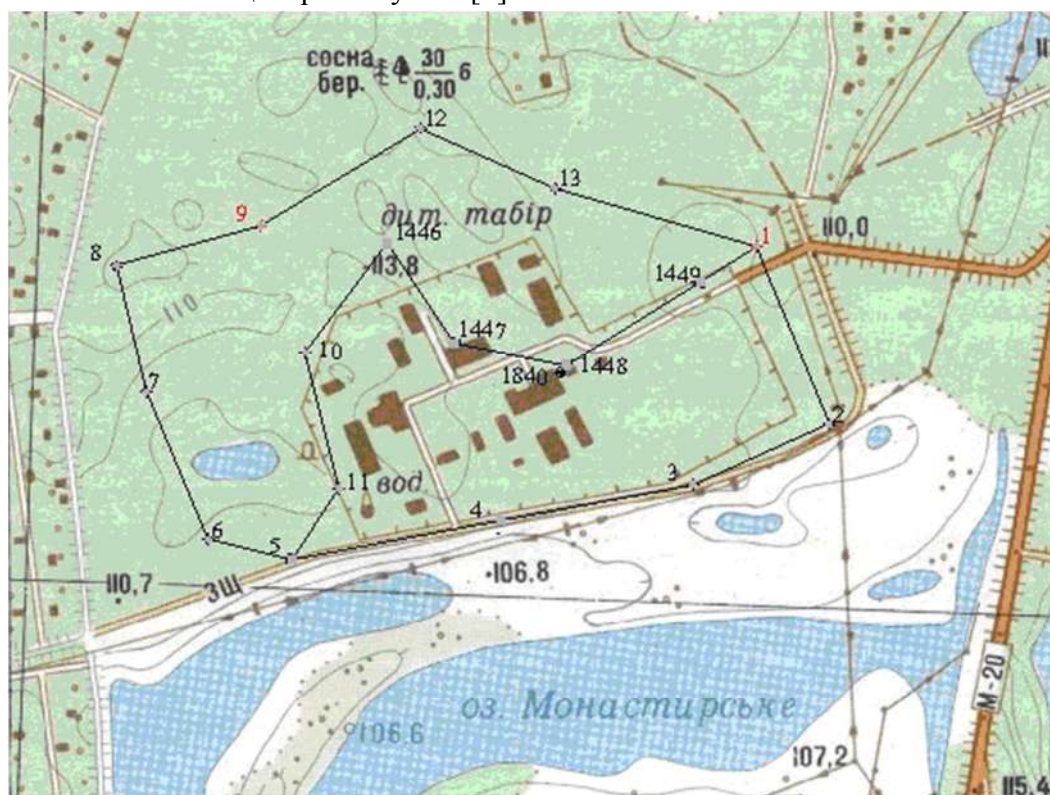
**Виклад основного матеріалу.** На сьогодні літня геодезична практика для студентів Чернігівського національного технологічного університету за освітніми програмами підготовки і спеціалізаціями геодезія та землеустрій, гідротехнічне будівництво, водна інженерія та водні технології, будівництво та цивільна інженерія, агрономія, лісове і садово-паркове господарство проводиться на навчально-геодезичному полігоні «Фор-

туна», який розташований неподалік міста Чернігова на мальовничій заповідній території урочища біля о. Святе<sup>1</sup>.

Урочище являє собою дюнну височину, яка поросла змішаним лісом з могутніх дубів і вікових сосен та знаходиться у заплаві р. Десни між рікою та пригородом Лісковиця. Ця височина не вкривається водою навіть у періоди самих високих паводків.

Навчально-геодезичний полігон створювався у 1999–2001 роках для забезпечення геодезичної практики студентів щойно ліцензованого на той час напряму підготовки «геодезія, картографія та землевпорядкування». Завдяки активному сприянню тодішнього ректора Чернігівського державного інституту економіки і управління Бориса Суховірського і зусиллям працівників інституту, зокрема, старших викладачів Віктора Мовенка зі студентами та Василя Коголя, фахівця «Чернігівводпроекту», випускника геодезичного факультету «Львівської політехніки» 1969 року, був реалізований проект закладки пунктів мережі та проведені перші геодезичні спостереження. За результатами цих спостережень складено каталог координат пунктів навчально-геодезичного полігону в місцевій системі.

Пункти геодезичної мережі утворювали зімкнену геометричну фігуру, що опиралася на чотири пункти полігонометрії IV класу – пп. 1446, 1447, 1448, 1449 (рис. 1) та являли собою монолітні центри типу 160 [2].



#### УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

- 1446 ■ - пункт полігонометрії
- 7.5 ✕ - пункт геодезичного полігону
- 7.1 ✕ - зруйнований пункт геодезичного полігону

Рис. 1. Схематичне розташування пунктів навчально-геодезичного полігону станом на 2001 рік

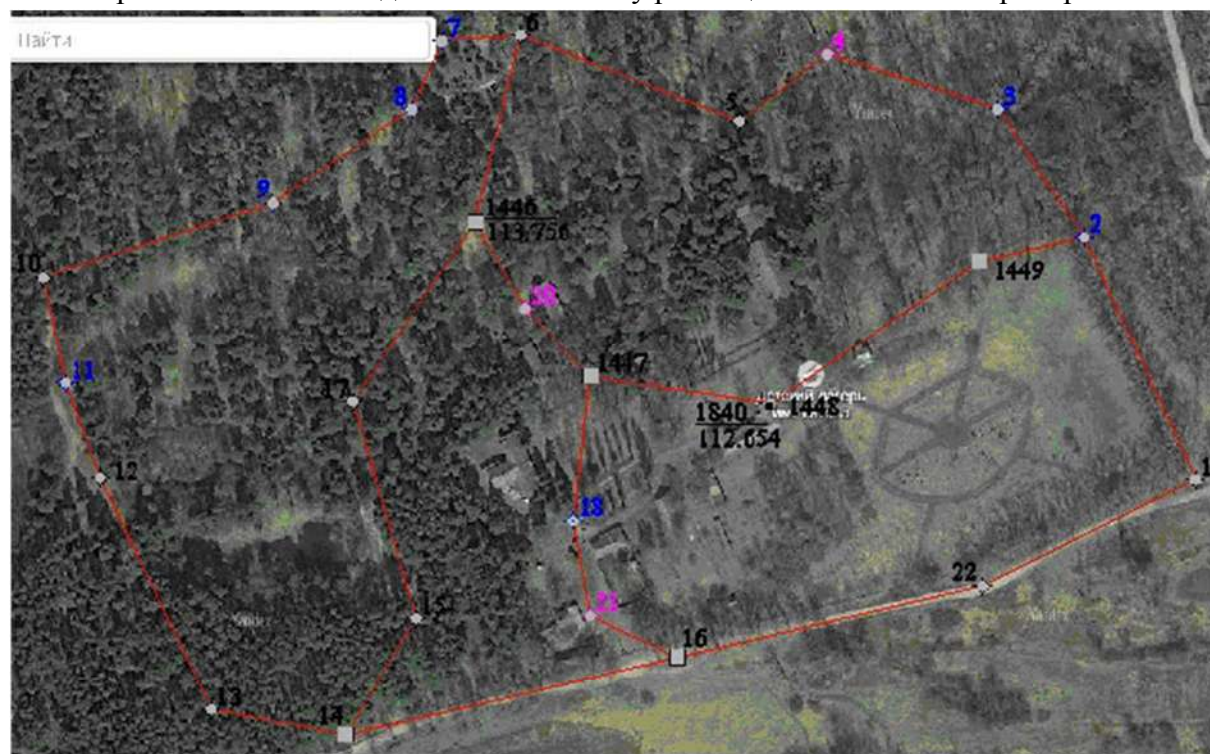
<sup>1</sup> \* За існуючими історичними фактами у водах о.Святого в 989 році мешканці Чернігова прийняли святе хрещення. Давні перекази свідчать, що на берегах озера жив Микола Святоша, син князя Давида Святославовича.

Координування точок у місцевій системі координат відбувалося методом полігонометрії 1 розряду з відносною похибкою ходу  $\frac{m_s}{S} \approx \frac{1}{10000}$ .

$$\frac{m_s}{S} \approx \frac{1}{10000}$$

У зв'язку з унікальним розташуванням геодезичного полігону на території історико-заповідного урочища о. Святого, перед виконанням полігонометричних робіт у мережі були проведені підготовчі роботи, суть яких полягала в наступному.

З часу створення мережі навчально-геодезичного полігону минуло більше 17 років. Закономірно, що видимості між суміжними пунктами відтоді сильно заросли, а прочистка просік не виконувалася. Відсутність можливостей відновлення видимостей між суміжними точками мережі компенсувалася закладанням додаткових пунктів. Оновлена мережа з додатковими пунктами показана на космоснімку (рис. 2), де видно, що усі пункти мережі навчально-геодезичного полігону розміщені на залісеній території.



**УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ**

- 1446 ■ - вихідний пункт полігонометрії
- 1.5 ✚ - пункт геодезичного полігону
- 1.11 ✚ - відновлений та перезакладений пункт геодезичного полігону
- 1.21 ✚ - тимчасовий пункт геодезичного полігону

Рис. 2. Схематичне розташування пунктів полігону станом на 2017 р.

Зауважимо, що у заповідній зоні рекогностування пунктів у поєднанні з геодезичними спостереженнями справа дуже відповідальна та важлива, яку, серед інших, успішно реалізували викладачі кафедри та виконавці наукового магістерського проекту – випускники інженерно-будівельного факультету О. Котченко та Г. Седневець.

**Постановка спостережень.** Перед проведенням спостережень виконувалися метрологічні перевірки приладів щодо їх придатності до роботи та відповідності технічним характеристикам.

Спостереження проводились у квітні 2016 року в режимі реального часу GNSS-приймачем GeoMax GNSS Zenith 10/20 (№ GMZ103640003) на пунктах полігону. Як координатну основу використовували мережу перманентних супутникових GNSS-станцій System NET. Положення базових станцій визначені в системі координат УСК-2000 та мають жорсткі зв'язки з пунктами Української перманентної GNSS-мережі.

Детальний опис подібної технології виконання супутникових спостережень подано в [8].

Розрахунок RTK-поправок виконувався за допомогою програмного комплексу Leica GNSS Spider v4.3, який встановлений на сервері мережі System NET. Максимальна довжина базової лінії становила 22 км.

Визначення координат пунктів мережі базових станцій навчально-геодезичного полігону виконані у плоскій прямокутній системі координат СК-63-4. Перехід від міжнародної системи координат IGS-08 до СК-63-4 виконувався за допомогою цифрової моделі трансформаційного поля, яка розроблена Науково-дослідним інститутом геодезії і картографії.

За результатами геодезичних вимірів були визначені координати точок мережі в системі координат УСК 2000. Усі розрахунки координат виконувались у програмному забезпеченні GeoMax X-PAD.

Оцінювання проекту полігонометричної мережі виконували за допомогою відповідного програмного забезпечення CREDO DAT 3.10. Під час опрацювання тахеометричних ходів у полігоні отримана середня відносна похибка планового положення пунктів  $\left(\frac{m_s}{S}\right)_{сер} = \frac{1}{28500}$ , що повністю відповідає точності полігонометрії 4 класу.

Нами також проаналізовані вимірювання в RTK-режимі в системі координат УСК-2000 і СК-63 та проведено їх порівняння з класичними методами визначення координат шляхом прокладання тахеометричного ходу.

Для цього запишемо  $dX, dY$  та  $dH$ , отриманих як різниці визначених координат у СК-63 і УСК-2000 шляхом прокладання тахеометричного ходів та із GNSS-спостережень на пунктах полігону в режимі кінематичного позиціонування RTK

$$\begin{aligned} dX_i &= (X_i)_{СК-63}^{max} - (X_i)_{СК-63}^{RTK} \\ dY_i &= (Y_i)_{СК-63}^{max} - (Y_i)_{СК-63}^{RTK} \\ dH_i &= (H_i)_{СК-63}^{max} - (H_i)_{СК-63}^{RTK} \end{aligned} \quad (1)$$

та

$$\begin{aligned} dX_j &= (X_j)_{УСК2000}^{max} - (X_j)_{УСК2000}^{RTK} \\ dY_j &= (Y_j)_{УСК2000}^{max} - (Y_j)_{УСК2000}^{RTK} \\ dH_j &= (H_j)_{УСК2000}^{max} - (H_j)_{УСК2000}^{RTK} \end{aligned}$$

де  $dX_i, dY_i, dH_i$  – різниці значень координат та висот пунктів полігону в СК-63 між визначеними шляхом прокладання тахеометричних ходів та зі спостережень супутниковим GNSS-приймачем;

$dX_j, dY_j, dH_j$  – те ж саме, тільки в УСК-2000.

Результати опрацювання спостережень, що наведені у табл. 1, показали, що висока рослинність негативно впливала на якість сигналу, оскільки полігон розташовувався на залісеній території заповідника, про що свідчать максимальні значення координатних відхилень.



$$dX_{УСК2000}=0,094 \text{ м,} \quad dX_{СК-63}=-0,159 \text{ м,}$$

$$dY_{УСК2000}=0,079 \text{ м,} \quad dY_{СК-63}=0,188 \text{ м.}$$

Таблиця 1

Точність визначення координат пунктів мережі у СК-63 та УСК-2000

Пункти	Точність координат у системі (СК-63)			Точність координат у системі (УСК-2000)		
	$dX_i$	$dY_i$	$dH_i$	$dX_j$	$dY_j$	$dH_j$
PP1446	-0,003	0,038	-1,000	-0,092	-0,047	-1,054
PP1447	0,031	0,022	-1,000	-0,057	-0,024	-1,041
PP1448	0,074	-0,049	-1,111	-0,004	-0,023	-1,018
PP1449	0,029	0,091	-1,009	-0,015	-0,063	-1,095
1	-0,122	0,188	-1,020	0,008	-0,079	-1,104
2	0,000	-0,014	-1,145	-0,024	-0,072	-1,149
3	-0,030	0,000	-1,150	-0,013	-0,048	-1,174
4	-0,024	0,000	-1,036	-0,039	-0,070	-1,017
5	-0,016	0,001	-1,032	-0,064	-0,045	-1,052
6	-0,007	0,112	-1,523	-0,040	-0,057	-1,130
7	-0,083	-0,032	-0,985	-0,083	-0,029	-1,069
8	-0,070	-0,041	-1,064	-0,082	-0,022	-1,063
9	-0,082	-0,029	-1,042	-0,090	0,001	-1,045
10	-0,061	-0,005	-1,010	-0,094	0,013	-1,052
11	-0,062	-0,014	-1,110	-0,089	0,025	-1,067
12	-0,071	0,001	-1,009	-0,064	0,019	-1,102
13	-0,106	0,031	-1,003	-0,035	0,025	-1,058
14	-0,093	0,019	-1,003	0,000	0,000	-1,128
15	-0,152	-0,021	-1,205	-0,044	0,000	-1,088
16	-0,117	0,097	-0,987	0,000	0,000	-1,072
17	-0,159	-0,039	-0,999	-0,058	0,002	-1,127
18	-0,001	-0,001	-1,044	-0,017	0,016	-1,096
20	-0,030	-0,075	-1,058	-0,055	-0,038	-1,077
21	-0,007	0,018	-1,044	-0,012	0,023	-1,037
22	-0,120	0,143	-1,018	0,013	-0,029	-1,084

Проаналізуємо також результати точності отриманих нами координат у RTK-режимі за критеріями коефіцієнта закритості горизонту, наведеними в [10] та скористаємося формулою

$$k_{закр} = \sum_{i=1}^{360} \sin^3 \nu . \tag{2}$$

Прийmemo критерій підходу до коефіцієнта закритості горизонту на залісеній території таким як на забудованій та розрахуємо коефіцієнт для кутів відсікання від 40° до 70°, які мали місце при спостереженнях пунктів полігону. Орієнтовну точність планового положення пунктів  $\delta_{СЕР}$  в [10] представлено такими показниками, як Circular Error Probable (СЕР) при 95 % довірчій імовірності залежно від значення коефіцієнта закритості горизонту та тривалості спостереження на пункті до двох хвилин.

Тривалість наших спостережень була менше двох хвилин. Далі за формулою

$$\delta_{Обч} = \sqrt{dX_i^2 + dY_i^2}$$

нами виконані обчислення точності планового положення пунктів мережі у системі координат СК-63, враховуючи  $k_{закр}$ , а дані цих розрахунків зведені у таблиці 2.

Орієнтовна точність планового положення пунктів, мм

$K_{закр}$	Кути відсікання	Точність показника Circular Error Probable $\delta_{СЕР}$ , м	Точність, отримана з польових вимірів $\delta_{ОБЧ}$ , м
95,6	40°	0,027	0,040
161,8	50°	0,097	0,129
233,8	60°	0,161	0,195
298,7	70°	0,161	0,242

Аналізуючи табличні значення, зауважуємо закономірність залежності точності положення пунктів полігону від коефіцієнта закритості горизонту. Вбачається, що при кутах відсікання до 40° орієнтовна точність координатного визначення сягає до 4 см, при більших значеннях кутів відсікання – точність, відповідно, погіршується і становить майже 25 см. На нашу думку, в табл. 2 розрахункові дані  $\delta_{ОБЧ}$  більші, ніж  $\delta_{СЕР}$  з причини різниці у тривалості їх спостережень та довжини базової лінії.

**Висновки.** На підставі проведених досліджень можна стверджувати, що при реалізації методики супутникових спостережень пунктів навчально-геодезичного полігону в режимі реального часу в залісеній місцевості відносна похибка положення пунктів мережі  $\left(\frac{m_s}{S}\right)_{РТК} \approx \frac{1}{10000}$  співрозмірна з першочерговою, яка мала місце ще при створенні

полігону у 2001 році, а саме  $\frac{1}{10000}$ . Такі отримані результати можуть претендувати лише для забезпечення точності розрядних мереж кадастрових зніманих.

Зауважимо також, що отримана точність GPS-спостережень за критеріями коефіцієнта закритості горизонту з кутами відсічки до 70° непогано корелюється з результатами досліджень інших дослідників-науковців.

Зважаючи на величини максимальних відхилень у різних системах координат та відносну похибку планового положення пунктів при прокладанні ходів електронної полігонометрії, яка в середньому становила  $\left(\frac{m_s}{S}\right)_{maxeom} = \frac{1}{28500}$ , констатуємо, що точність

координатного забезпечення пунктів навчально-геодезичного полігону при повторних вимірюваннях становить вище рівня точності полігонометрії 4 класу. Тобто для таких умов спостережень пунктів геодезичного полігону з унікальною локацією на території заповідника у залісеній місцевості краще використовувати класичні методи координатного забезпечення як такі, що забезпечують надійніші та точніші результати. При цьому точність спостережень у РТК-режимі у цих умовах залишається нижчою.

У подальших дослідженнях намагатимемося максимально врахувати та мінімізувати відповідні фактори для підвищення точності координатного забезпечення пунктів навчально-геодезичного полігону як одного з унікальних за розташуванням.

#### Список використаних джерел

1. *Еталонний геодезичний полігон для метрологічного контролю приймачів супутникових сигналів / Тревого І., Савчук С., Цюпак І. та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2008. – Вип. І (15). – С. 55-60.*
2. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 // (ГКНТА-2.04-02-98).*
3. *Науковий геодезичний полігон для метрологічної атестації геодезичних приладів та технологій / Тревого І., Савчук С., Денисов О., Дзуліт П., Глотов В., Волчко П. // Сучасні досяг-*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

нення геодезичної науки та виробництв. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2005. – С. 33–43.

4. *Практичні дослідження точності визначення координат супутниковими технологіями у реальному часі* / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк. // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.

5. *Предварительные результаты GNSS-наблюдений на пунктах геодезической сети Северного региона Украины* / А. Терещук, И. Нисторьяк, А. Жалило, А. Желанов // Вестник СГГА (Сибирской государственной геодезической академии). – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 29–38.

6. *Терещук О. І. Відновлення міських мереж згущення сучасними супутниковими технологіями* / О. Терещук, І. Нисторьяк, Р. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2015. – Вип. 82. – С. 59–72.

7. *Терещук О. І. Досвід функціонування перманентної GNSS-станції «Чернігів» (CNIV) у мережі EPN* / О. Терещук, І. Нисторьяк // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 1. – С. 130–140.

8. *Терещук О.І. Методика та дослідження кінематичних визначень координат різними GNSS-приймачами* / О. І. Терещук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2014. – Вип. 80. – С. 48–61.

9. *Терещук О. Попередні результати та аналіз GNSS-спостережень на Чернігівщині* / О. Терещук, І. Нисторьяк // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2013. – Вип. II (26). – С. 58–61.

10. *Янчук О.Є. Попереднє оцінювання впливу обмеженої видимості горизонту на точність GPS-спостережень* / Вісник геодезії та картографії// Вип.№4 (67), 2010 - с.3-7.

11. *Tereshchuk O. Efficiency of application of satellite technology when performing land and cadastral works in settlements* / O. Tereshchuk, I. Nystoriak // Geodesy, cartography and aerial photography. – 2016. – Issue 84. – Pp. 90–100.

### References

1. Trevoho, I., Savchuk, S., Tsiupak, I. (2008). Etalonnyi heodezychnyi polihon dlia metrolohichnoho kontroliu pryimachiv suputnykovykh syhnaliv [Reference geodesic polygon for metrological control of the satellite signals]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstv – Recent advances in geodetic science and industry*, pp. 55–60 (in Ukrainian).

2. Instruktisiia z topohrafichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 [An outline of the topographic record on scales of 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 and 1: 500]. (HKNTA-2.04-02-98) (in Ukrainian).

3. Trevoho, I., Savchuk, S., Denysov, O., Dvulit, P., Hlotov, V., Volchko, P. (2005). Naukovyi heodezychnyi polihon dlia metrolohichnoi atestatsii heodezychnykh pryladiv ta tekhnolohii [Scientific geodesic polygon for metrological certification geodetic instruments and technologies]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstv – Recent advances in geodetic science and industry*, pp. 33–43 (in Ukrainian).

4. Shults, R., Tereshchuk, O., Nystoriak, I., Annenkov, A. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat suputnykovykh tekhnolohiiamy u realnomu chasi [Practical study the accuracy of satellite technologies coordinates in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering surveying*, no. 61, pp. 58–77 (in Ukrainian).

5. Tereshchuk, A., Nystoriak, I., Zhalylo, A., Zhelanov, A. (2014). Predvaritelnye rezultaty GNSS-nabliudenii na punktakh heodezicheskoi seti Severnogo rehiona Ukrainy chasi [Preliminary results of GNSS observations at points of the geodetic network of the Northern Region of Ukraine]. *Vestnyk SHHA (Sibirskoi hosudarstvennoi heodezicheskoi akademii) – Bulletin of the Siberian State Geodetic Academy*, issue 4 (28), pp. 29–38 (in Russian).

6. Tereshchuk, O., Nystoriak, I., Shults, R. (2015). Vidnovlennia miskykh merezh zghushchennia suchasnymy suputnykovykh tekhnolohiiamy [Restoration of urban networks thickening modern satellite technology]. *Heodeziia, kartohrafiia i aefofotoznmannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 82, pp. 59–72 (in Ukrainian).

7. Tereshchuk, O., Nystoriak, I. (2015). Dosvid funktsionuvannia permanentnoi GNSS-stantsii «Chernihiv» (CNIV) u merezhi EPN [The experience of permanent GNSS-station "Chernihiv" (CNIV) network EPN]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia* :

*Tekhnichni nauky – Journal of Chernihiv State Technological University. Series: Engineering*, no. 1, pp. 130–140 (in Ukrainian).

8. Tereshchuk, O. (2014). *Metodyka ta doslidzhennia kinematychnykh vyznachen koordynat riznykh GNSS-pryimachamy* [Methodology and definitions kinematic study coordinates the various GNSS-receivers]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 80, pp. 48–61 (in Ukrainian).

9. Tereshchuk, O., Nystoriak, I. (2013). *Poperedni rezultaty ta analiz GNSS-sposterezhzen na Chernihivshchyni* [Preliminary results and analysis of GNSS-observations in Chernihiv]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Recent advances in geodetic science and industry*. Issue II (26), pp. 58–61 (in Ukrainian).

10. Yanchuk, O.Ie. (2010). *Poperednie otsiniuvannia vplyvu obmezhenoi vydymosti horyzontu na tochnist GRS-sposterezhzen* [Preliminary evaluation of the impact of reduced visibility horizon for accuracy GRS observations]. *Visnyk heodezii ta kartohrafiu – Journal of Geodesy and Cartography*, issue 4 (67), pp. 3–7 (in Ukrainian).

11. Tereshchuk, O., Nystoriak, I. (2016). *Efficiency of application of satellite technology when performing land and cadastral works in settlements*. *Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 84, pp. 90–100.

*Oleksiy Tereshchuk*

## METHODS OF IMPLEMENTATION OF SATELLITE TECHNOLOGY OF KINEMATIC POSITIONING FOR GEODETIC POLIGONS

**Urgency of the research.** *Training geodesic polygons were created several decades ago to ensure practical training of students, scientific researches and consistent with its purpose. However, after starting the use of modern GNSS receivers and electronic tacheometers the need for modernization of geodetic networks of the mentioned landfills became apparent.*

**Target setting.** *At the present stage of development of satellite technologies of coordinate ensuring more attention is paid to the achievement of high accuracy of observations. This is especially true for GNSS-observations of teaching points and geodetic polygons, which were created by up to that time surveying technology decades ago.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Training geodesic polygons were created on the bases of educational institutions that had the appropriate licensed areas of training students of geodesy, land management, construction, architecture etc. The size and shape of mentioned polygons depends on many factors, but primarily on the ability of the institution and the prospects of its development, the licensed number of students of these training areas etc. Thus, in 1974 a framework of educational and geodesic polygon "Lviv Polytechnic" was created, which was extremely well placed on the picturesque slopes along Berezhansky pond and covers an area of 9 hectares. Berezhansky geodesic polygon includes more than a hundred items which have been longer used in educational and scientific purposes and fully consistent with its purpose. However, using modern GNSS-receivers, total stations and electronic acute requires modernization of the geodetic network. Satellite observations in geodetic network landfill complied with for 1999-2008 years various devices and different duration. Similar polygons using satellite technology were established in different places and had a goal and metrological certification of GPS-equipment [1, 2].*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Since the creation of the network of the training and geodesic landfill of the ChNTU, there have been no repeated geodetic observations at the landfill. Taking into account this and in order to modernize the existing geodetic network, we carried out repeated measurements and GNSS observation at the points of the planned high-altitude network of the training and geodesic landfill of the ChNTU "Fortuna". Since the network points are located in the forested area, particular attention was paid to the application and research of satellite technologies in the mode of real-time kinematics.*

**The research objective.** *The main aim of this work was supposed to modernize the existing network of educational and geodesic polygon of Chernihiv National Technological University in way by laying polygonometry and implement modern methods of satellite observations in real-time kinematics mode.*

**The statement of basic materials.** *The uniqueness of the location of a geodetic polygon on the territory of the historic reserve tract of about Svyatogo Island provided additional conditions for the development of a program of observations, namely, in the absence of the possibility of restoring the visibility between adjacent points of the network compensated by the laying of additional points. Observations at the points of the landfill were conducted in real time with the GNSS-receiver. All coordinate calculations were performed in the GeoMax X-PAD software. The polygon network was evaluated using the CREDO DAT 3.10 software. The determination of the coordinates of the points was also carried out by laying the tacheometric moves, in the course of which the relative error of the planned position corresponds to the accuracy of grade 4 polygonometry. The results of the accuracy of the coordinates obtained by us in the RTK-mode according to the criteria of the closure coefficient of the horizon are also analyzed.*

**Conclusions.** *For these conditions, observation points geodesic polygon with a unique location on the reserve in the forested areas make better use of classical methods such as coordinate software, providing accurate and reliable results. The accuracy of observations in RTK - mode in these conditions is lower.*

**Key words:** *polygons; GNSS-technology; tacheometric moves.*



*Алексей Терещук*

**МЕТОДИКА РЕАЛИЗАЦИИ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
КИНЕМАТИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ  
ДЛЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПОЛИГОНОВ**

*Работа посвящена решению вопросов модернизации учебно-геодезического полигона Черниговского национального технологического университета путем внедрения спутниковых технологий кинематического позиционирования и проложения ходов электронной тахеометрии.*

**Ключевые слова:** полигоны; GNSS-технологии; тахеометрические ходы.

**Терещук Олексій Іванович** – кандидат технічних наук, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, декан інженерно-будівельного факультету навчально-наукового інституту технологій Чернігівського національного технологічного університету (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Терещук Алексей Иванович** – кандидат технических наук, профессор кафедры геодезии, картографии и землеустройства, декан инженерно-строительного факультета учебно-научного института технологий Черниговского национального технологического университета (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Tereshchuk Oleksiy** – PhD in Technical Sciences, Professor of Geodesy, Cartography and Land Management, Dean of the Faculty of Civil Engineering research institute of technology Chernihiv National Technological University (Shevchenko Str., 95, Chernihiv 14027, Ukraine).

**E-mail:** olexter1957@gmail.com

**ORCID:** [orcid.org/0000-0001-6433-9351](http://orcid.org/0000-0001-6433-9351)

**ResearcherID:** <http://www.researcherid.com/rid/H-4540-2016>

**Google Scholar:**

[https://scholar.google.com.ua/citations?user=vZtF4YIAAAAJ&hl=uk&citsig=AMstHGRJW5NzJv81Vio\\_Xp9rgjtO\\_Wm2GA](https://scholar.google.com.ua/citations?user=vZtF4YIAAAAJ&hl=uk&citsig=AMstHGRJW5NzJv81Vio_Xp9rgjtO_Wm2GA)

**Indexcopernicus:** [http://journals.indexcopernicus.com/+++\\_p24781806,3.html](http://journals.indexcopernicus.com/+++_p24781806,3.html)

УДК 528.72/73

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-2(8)-246-254

Віктор Мовенко

**ОСОБЛИВОСТІ ВІДВЕДЕННЯ ДІЛЯНОК ЗЕМЕЛЬ  
ІСТОРИКО-КУЛЬТУРНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ПІД БУДІВНИЦТВО**

**Постановка проблеми.** Подальше використання території історико-культурного призначення має дуже важливе значення та потребує значної уваги при зміні їх призначення. Тому постає питання збільшення вільних земель під відповідне будівництво за рахунок інших категорій земель – особливо цінних земель.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** При відведенні земельних ділянок на територіях історико-культурного призначення потрібно враховувати положення Земельного кодексу України, законів України «Про охорону культурної спадщини», «Про землеустрій», «Про регулювання містобудівної документації» та відповідність погоджень та експертиз існуючому законодавству.

**Невирішені частини загальної проблеми.** Відповідність законодавству розглянута на прикладі проекту відведення земельної ділянки в постійне користування Комунальному підприємству „Чернігівбудінвест” Чернігівської міської ради (відповідно листа від 03.12.2015 року за №01-04/814 щодо згоди) для будівництва багатопверхового житлового будинку з об’єктами соціального призначення в м. Чернігові, по вул. Князя Чорного 4-а за рахунок земель історико-культурного призначення, який проходив обов’язкову Державну експертизу землепорядної документації.

**Виклад основного матеріалу.** Порядок використання земель історико-культурного призначення визначається відповідно до законодавства України про культуру та про охорону об’єктів культурної спадщини і пов’язаний з характером об’єкта, під яким знаходиться відповідна земельна ділянка, загальнодержавним (національним) чи місцевим статусом і низкою інших факторів.

Управління архітектури та містобудування Чернігівської міської ради 07.07.2015 надано містобудівні умови та обмеження забудови земельної ділянки, затверджені рішенням виконкому Чернігівської міськради, якими передбачалося будівництво двох житлових будинків та підземного паркінгу в безпосередній близькості до пам’ятки історії та архітектури - Слецького Успенського монастиря XII століття.

Не зважаючи на всі заперечення громадськості та архітектурно-історичних установ м.Чернігова, місцева прокуратура визнала законним дозвіл на будівництво за адресою вул. Князя Чорного 4.

**Висновки і пропозиції.** Використання території історико-культурного призначення повинно відбуватися згідно усіх вимог законодавства, Земельного кодексу України, погоджуватись передбаченими установами та організаціями.

Подальше збереження архітектурно-історичних пам’яток для нащадків залежить від добайливого відношення громадян Чернігова до подальшої розбудови території міста, тому питання використання території історико-культурного призначення повинно постійно знаходитись під пильною увагою громадськості.

**Ключові слова:** землі історико-культурного призначення; земельні ділянки; план зонування м. Чернігова.

**Постановка проблеми.** У XX та XXI століттях відбувається значне зростання територій обласних та районних міст незалежної України. Розширення площ міст пов’язано передусім з їх подальшою розбудовою як за рахунок збільшення незабудованих територій (зі зміною кордонів міст), так і за рахунок реконструкцій існуючих територій, у тому числі територій різного цільового призначення. Тому подальше використання територій історико-культурного призначення має дуже важливе значення та потребує значної уваги при зміні їх призначення. Розвиток суспільства накладає певні просторові відбитки. Демографічний прогрес збільшує попит на житло, на місце роботи, відпочинку, освіти тощо. Для задоволення цих потреб суспільство збільшує частку будівництва, тим саме зменшує площі, що відносяться до земель житлової і громадської забудови. Тому постає питання збільшення вільних земель під відповідне будівництво за рахунок інших категорій земель – особливо цінних земель.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Згідно із Земельним кодексом України до земель історико-культурного призначення належать землі, на яких розташовані:

- історико-культурні заповідники, музеї-заповідники, меморіальні парки, меморіальні (цивільні та військові) кладовища, могили, історичні або меморіальні садиби, будинки, споруди і пам’ятні місця, пов’язані з історичними подіями;
- городища, кургани, давні поховання, пам’ятні скульптури та мегаліти, наскальні зображення, поля давніх битв, залишки фортець, військових таборів, поселень і стоянок, ділянки історичного культурного шару укріплень, виробництв, каналів, шляхів;
- архітектурні ансамблі і комплекси, історичні центри, квартали, площі, залишки стародавнього планування і забудови міст та інших населених пунктів, споруди цивіль-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ної, промислової, військової, культової архітектури, народного зодчества, садово-паркові комплекси, фонові забудови [1].

Закон України «Про охорону культурної спадщини» [2] виділяє 6 основних видів відповідних об'єктів:

- археологічні (городища, кургани, залишки стародавніх поселень, стоянок, укріплень, військових таборів, виробництв, іригаційних споруд, шляхів, могильники, культові місця та споруди, мегаліти, наскальні зображення, ділянки історичного культурного шару, поля давніх битв, рештки життєдіяльності людини, що містяться під водою);

- історичні (будинки, споруди, їх комплекси (ансамблі)), окремі поховання та некрополі, визначні місця, пов'язані з важливими історичними подіями, з життям та діяльністю відомих осіб, культурою та побутом народів;

- монументального мистецтва - твори образотворчого мистецтва, як самостійні (окремі), так і ті, що пов'язані з архітектурними, археологічними чи іншими пам'ятками або з утворюваними ними комплексами (ансамблями);

- архітектури та містобудування - історичні центри, вулиці, квартали, площі, архітектурні ансамблі, залишки давнього планування та забудови, окремі архітектурні споруди, а також пов'язані з ними твори монументального, декоративного та образотворчого мистецтва);

- садово-паркового мистецтва (поєднання паркового будівництва з природними або створеними людиною ландшафтами);

- ландшафтні (природні території, які мають історичну цінність).

Для контролю держави у правильності та відповідності чинного законодавства створюються відповідні механізми контролю.

На місцевому рівні сесія може надавати дозвільні документи щодо можливості відведення ділянок, але щоб розподіл ділянок не знаходився під керівництвом однієї людини, яка, можливо, діє від імені громади, введені відповідні заходи щодо контролю державними органами. Згідно зі ст. 186-1 Земельного кодексу України є чітке роз'яснення цього питання.

Погодження надання ділянок регламентовано законом.

Для процедури надання земель особливо цінного значення держава ввела проходження обов'язкової Державної експертизи землевпорядної документації, яка повинна провести аналіз відповідності чинному законодавству, нормативним актам, наказам тощо.

**Невирішені частини загальної проблеми.** Відповідність Закону розглянемо на прикладі проекту відведення земельної ділянки в постійне користування Комунальному підприємству «Чернігівбудінвест» Чернігівської міської ради (відповідно до листа від 03.12.2015 року за № 01-04/814 щодо згоди) для будівництва багатоповерхового житлового будинку з об'єктами соціального призначення в м. Чернігові по вул. Князя Чорного 4а за рахунок земель історико-культурного призначення, який проходив обов'язкову Державну експертизу землевпорядної документації.

**Виклад основного матеріалу.** Порядок використання земель історико-культурного призначення визначається відповідно до законодавства України про культуру та про охорону об'єктів культурної спадщини і пов'язаний з характером об'єкта, під яким знаходиться відповідна земельна ділянка, загальнодержавним (національним) чи місцевим статусом й іншими факторами.

Використання пам'ятки має здійснюватися відповідно до режимів використання, встановлених органами охорони культурної спадщини, у спосіб, що потребує якнайменших змін пам'ятки та забезпечує збереження її матеріальної автентичності, просторової композиції, а також елементів обладнання, упорядження, оздоби тощо.

Крім віднесення земель до певної категорії, яке пов'язане зі здійсненням правомочності по розпорядженню землею (фактично закріпленню основного цільового призначен-

ня), законодавству відоме переведення земель із однієї категорії до іншої. Таке переведення земель здійснюється в результаті зміни їх цільового призначення. У результаті втілення у практику містобудування зонування території з встановленням переліку можливих видів забудови земельних ділянок, єдиних умов та обмежень для об'єктів будівництва – містобудівна політика стала більш прозорою для інвесторів, оскільки забезпечує можливість вибору безпосередньо замовником найбільш ефективного виду використання земельних ділянок та створює умови для оперативного одержання дозвільних документів на будівництво об'єктів та стимулювання економічного зростання міста.

Усі без винятку території міста Чернігова поділяються на зони згідно з їх функціональним призначенням, передбаченим Генеральним планом міста (рис. 1). Розміщення нового будівництва, реконструкція, ремонт (у тому числі з добудовою та перебудовою) будинків і споруд, використання земель, виділення земельних ділянок у кожній зоні повинні відповідати вимогам та обмеженням, встановленим для цієї зони. План зонування призначений для відображення на карті міста меж функціональних зон, відносно яких встановлюються переважні та допустимі види забудови і використання, а також єдині умови та обмеження відповідно до затвердженого Генерального плану міста та іншої містобудівної документації [3].

Межами зон на карті вважаються:

- червоні лінії вулиць;
- межі земельних ділянок;
- межі смуги відведення залізниці;
- офіційно встановлені границі об'єктів природно-заповідного фонду;
- межі Національного архітектурно-історичного заповідника «Чернігів стародавній»;
- природні рубежі – ріки Десна, Стрижень;
- межа міста (існуюча та проектна, визначена Генеральним планом міста).

На плані міста виділена також зона, що накладається, якою встановлюються додаткові вимоги до зон, на які вона накладається. В Чернігові такою зоною прийнятий історичний район міста. Межі історичного району міста попередньо адаптовані до сучасного розпланування та природних рубежів. Для остаточного визначення і затвердження меж історичного ареалу (району) м. Чернігова, які будуть зафіксовані в усіх землепорядних та містобудівних документах, потрібне виконання науково-проектної документації. План зонування зберігається в управлінні архітектури та містобудування Чернігівської міської ради, яке забезпечує:

- доступність для ознайомлення кожній фізичній та юридичній особі;
- актуалізацію шляхом внесення поточних змін у використанні земельних ділянок у відповідності до Тимчасового порядку, а також змін Тимчасового порядку в результаті відповідних рішень міської ради.

Внесення змін до Плану зонування території міста допускається відповідно до статті 18 Закону України «Про регулювання містобудівної документації» [4] за умови їх відповідності Генеральному плану міста. Проект Плану зонування та проект змін до Плану зонування підлягає громадському слуханню та затвердженню у встановленому порядку. План зонування доповнюється планами дії обмежень щодо екологічних умов та умов охорони культурної спадщини.

Земельні території пам'яток, охоронних зон, музеїв-заповідників, археологічних й інших охоронюваних об'єктів належать до земель історико-культурного призначення і включаються до державних земельних кадастрів, планів землекористування, проектів землеустрою, іншої проектно-планувальної документації [2].



- копію клопотання (заяви) про надання дозволу на розроблення проекту землеустрою щодо відведення земельної ділянки (у разі формування та/або зміни цільового призначення земельної ділянки за рахунок земель державної чи комунальної власності);
- рішення Верховної Ради Автономної Республіки Крим, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, відповідного органу виконавчої влади або органу місцевого самоврядування про надання дозволу на розроблення проекту землеустрою щодо відведення земельної ділянки (у випадках, передбачених законом);
- письмову згоду землевласника (землекористувача), засвідчену нотаріально (у разі викупу (вилучення) земельної ділянки в порядку, встановленому законодавством), або рішення суду;
- довідку з державної статистичної звітності про наявність земель та розподіл їх за власниками земель, землекористувачами, угіддями;
- матеріали геодезичних вишукувань та землепорядного проектування (у разі формування земельної ділянки) [6];
- відомості про обчислення площі земельної ділянки (у разі формування земельної ділянки);
- копії правовстановлюючих документів на об'єкти нерухомого майна, розташовані на земельній ділянці (за наявності таких об'єктів);
- розрахунок розміру втрат сільськогосподарського та лісгосподарського виробництва (у випадках, передбачених законом);
- розрахунок розміру збитків власників землі та землекористувачів (у випадках, передбачених законом);
- акт приймання-передачі межових знаків на зберігання (у разі формування земельної ділянки);
- акт перенесення в натуру (на місцевість) меж охоронних зон, зон санітарної охорони, санітарно-захисних зон і зон особливого режиму використання земель за їх наявності (у разі формування земельної ділянки);
- перелік обмежень у використанні земельних ділянок;
- вкопіювання з кадастрової карти (плану) або інші графічні матеріали, на яких зазначено бажане місце розташування земельної ділянки (у разі формування земельної ділянки);
- кадастровий план земельної ділянки;
- матеріали перенесення меж земельної ділянки в натуру (на місцевість) (у разі формування земельної ділянки) [7];
- матеріали погодження проекту землеустрою (рис. 2).

Розглянутий проект відводиться за рахунок земель Чернігівської міської ради як одного власника і вкраплених контурів інших власників або користувачів не має. Тому питання письмової згоди інших землевласників (землекористувачів), засвідчення нотаріально не потребує [8].

Земельна ділянка вільна від забудови, тому правовстановлюючі документи на об'єкти нерухомого майна не надаються.

Після експертизи замовник подає проектні матеріали відповідно до сільської, селищної, міської ради або в районну держадміністрацію для прийняття рішення.



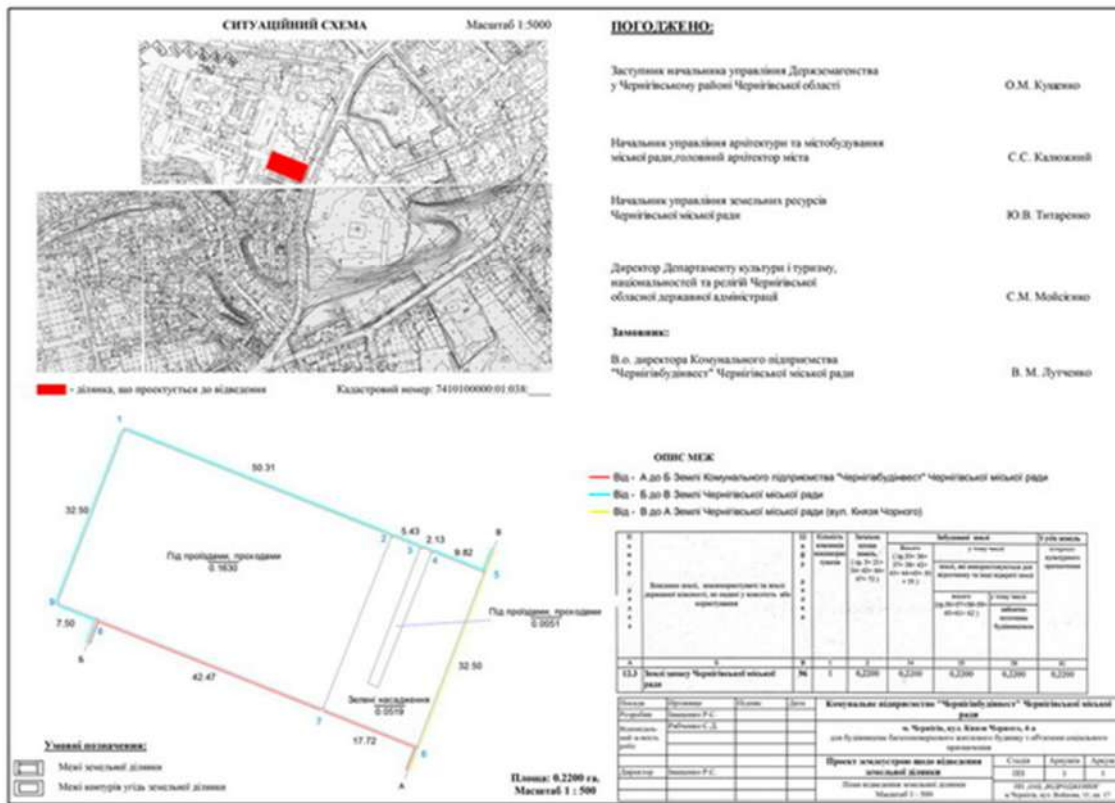


Рис.2. План відведення земельної ділянки

Управління архітектури та містобудування Чернігівської міської ради 07.07.2015 надано містобудівні умови та обмеження забудови земельної ділянки, затверджені рішенням виконкому Чернігівської міськради, якими передбачалося будівництво вже двох житлових будинків та підземного паркінгу в безпосередній близькості до пам'ятки історії та архітектури – Єлецького Успенського монастиря XII століття [9].

Незважаючи на всі заперечення громадськості та архітектурно-історичних установ м. Чернігова, місцева прокуратура визнала законним дозвіл на будівництво за адресою вул. Князя Чорного 4. Два будинки **по вулиці Князя Чорного 4 і 4а** у Чернігові – предмет кількарічних суперечок невдоволеної громади, влади, забудовників і церкви. Нагадаємо, міськрада виділила землі запасу, які знаходяться в охоронній зоні заповідника «Чернігів стародавній», під будівництво «Чернігівбудинвесту», яке уклало договір про будівництво з підприємством «Геліодор». Наслідок – тривале протистояння між громадськими активістами і забудовниками, які, на думку активістів, порушили законодавство. Тепер вже є й висновки по всіх напрямках, які вивчали працівники прокуратури. Перший – щодо законності виділення земельних ділянок. Все в межах. Далі – чи не завдало будівництво шкоди шару, цікавому археологам, адже будувати почали без висновків археологічної експертизи, обов'язкової в цьому випадку? Висновок прокуратури – шкоди не нанесено. Нема, за словами першого заступника прокурора області, і загрози сусіднім будівлям, хоча слідчі визнають: перший проект будівництва не відповідав вимогам законодавства. Тому його переробили. Підсумок – за словами Юрія Балева, рішення про будівництво законне [10]. На рис. 3 наведені фото будівництва житлового будинку за адресою вул. Князя Чорного 4 станом на 27.04.2017 року.



*Рис. 3. Будівництво житлового будинку на вул. Князя Чорного 4*



**Висновки і пропозиції.** Подальше використання територій історико-культурного призначення має дуже важливе значення та потребує значної уваги при зміні їх призначення. Розвиток суспільства накладає певні просторові відбитки. Демографічний прогрес збільшує попит на житло, на місце роботи, відпочинку, освіти тощо. Для задоволення цих потреб суспільство збільшує частку будівництва, тим саме зменшує площі, що відносяться до земель житлової і громадської забудови. Тому використання територій історико-культурного призначення повинно відбуватися згідно усіх вимог законодавства, Земельного кодексу України, погоджуватись передбаченими установами та організаціями.

Зважаючи на кількість пам'яток архітектури X–XI століть, що збереглися до цього часу (50), місто Чернігів ще у 1946 році, разом із Києвом та Львовом, було визнане історичним містом України, а Національний архітектурно-історичний заповідник «Чернігів стародавній» є одним з головних туристичних об'єктів не лише Чернігівщини, а й всієї держави. До його складу входять 29 унікальних пам'яток архітектури, 6 з яких збудовані в домонгольський період і, на думку фахівців, є одними з найдавніших у Східній Європі [9]. Подальше збереження архітектурно-історичних пам'яток для нащадків залежить від дбайливого ставлення громадян Чернігова до подальшої розбудови території міста, тому питання використання територій історико-культурного призначення повинно постійно знаходитись під пильною увагою громадськості.

#### Список використаних джерел

1. *Земельний кодекс України від 25.10.2001 № 2768-III.*
2. *Про охорону культурної спадщини : Закон України від 08.06.2000 р. № 1805-III.*
3. *Тимчасовий порядок використання території м. Чернігова : Рішення Чернігівської міської ради сесії 6-го скликання 2011 р.*
4. *Про регулювання містобудівної документації : Закон України від 17.02.2011 р. № 3038-VI.*
5. *Про землеустрій : Закон України від 22.05.2003 р. № 858-IV.*
6. *Шульц Р. В. Практичні дослідження ефективності застосування супутникових технологій в земельно-кадастрових роботах / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк // Інженерна геодезія. – 2015. – № 62. – С. 124-137.*
7. *Крячок С. Д. Геодезические работы в стесненных условиях / С. Д. Крячок, В. В. Власенко // Геопрофиль. – 2008. – № 3. – С. 14-17.*
8. *Щербак Ю. В. До питання визначення точності положення меж земельних ділянок на території міст районного підпорядкування і селищ / Ю. В. Щербак // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – Вип. 3 (72). – С. 8–10.*
9. *Интернет-ресурс. – Режим доступу : [www.gorod.cn.ua](http://www.gorod.cn.ua) від 11.08.2016.*
10. *Интернет-ресурс. – Режим доступу : [www.gorod.cn.ua](http://www.gorod.cn.ua) від 21.02.2016.*

#### References

1. *Zemlyni kodeks Ukrainy vid 25.10.2001 № 2768-III [Land Code of Ukraine on 25.10.2001 № 2768-III].*
2. *Pro okhoronu kulturnoi spadshchyny: Zakon Ukrainy vid 08.06.2000 r. № 1805-III [Law of “Protection of Cultural Heritage” on 08.06.2000 № 1805-III].*
3. *Tymchasovyi poriadok vykorystannia terytorii m. Chernihova : Rishennia Chernihivskoi miskoi rady sesii 6-ho sklykannia 2011r. [Interim arrangements for the use of territory Chernihiv. The decision of the Chernihiv City Council session of the 6th Convocation 2011].*
4. *Pro rehuliuвання mistobudivnoi dokumentatsii: Zakon Ukrainy vid 17.02.2011 № 3038-VI [Law of Ukraine “The regulation of the City Building Documentation” on 17.02.2011 № 3038-VI].*
5. *Pro zemleustrii : Zakon Ukrainy vid 22.05.2003 № 858-IV [Law of Ukraine “Land Management” on 22.05.2003 № 858-IV].*
6. *Shults, R.V., Tereshchuk, O.I., Nystoriak, I.O. (2015). Praktychni doslidzhennia efektyvnosti zastosuvannia suputnykovykh tekhnolohii v zemelno-kadastryvnykh robotakh [Practical research of effectiveness of using satellite technologies in land-cadastre works]. Inzhenerna heodeziia – engineering surveying, no. 62, pp. 124-137 (in Ukrainian).*

7. Kryachok, S.D., Vlasenko, V.V. (2008). Geodezicheskie raboty v stesnykh usloviyakh [Geodesic works in tight conditions]. Geoprofil – Geo-profile, № 3, pp. 14–17 (in Ukrainian).
8. Shcherbak, Yu.V. (2011). Do pytannia vyznachennia tochnosti polozhennia mezh zemelnykh dilianok na terytorii mist raionnoho pidporiadkuvannia i selyshch [On the question of determining of the accuracy of the position of the boundaries of lands on the territory of the towns of regional subordination and villages]. Visnyk heodezii ta kartografii – Herald of Geodesy and Cartography, issue 3 (72), pp. 8–10 (in Ukrainian).
9. Internet-resurs: [Internet resource] www.gorod.cn.ua, 11.08.2016.
10. Internet-resurs: [Internet resource] www.gorod.cn.ua, 21.02.2016.

Victor Movenko

## FEATURES OF THE ALLOTMENT OF LANDS OF HISTORICAL-CULTURAL PURPOSE FOR THE BUILDING

**Raising of problem.** The further use of territories of the historical-cultural purpose has a very important value and needs considerable attention at the change of their role. Therefore, the question about the increase of free land under appropriate construction at the expense of other categories of land such as especially valuable land arises.

**Analysis of the last researches and publications.** When the lands on territories of the historical-cultural purpose are given up it is necessary to take into account the position of the "Land Code of Ukraine", the laws of Ukraine "Protection of Cultural Heritage", "Land Management", "The regulation of the City Building Documentation", the correspondence of the concords and evaluation to the existing legislation.

**Unsolved parts of general issue.** The accordance to the legislation on example of the project of land allotment for permanent use to the Communal enterprise "Chernihivbudinvest" of Chernihiv town council (accordingly to the letter from 03.12.2015 after №01-04/814 in relation to a concord) for building of multistoried dwelling building with the objects of social purpose in Chernihiv at the Kniazia Chornoho Street, 4, at the expense of land of historical and cultural purpose, which was held mandatory State examination of land management documentation.

**Exposition of basic material.** The procedure for the use of lands of historical and cultural purpose is determined in accordance with the legislation of Ukraine on culture and the protection of objects of cultural heritage and is related to the nature of the object under which the relevant land is located, the national or local status and a number of other factors.

The Department of Architecture and Urban Development of Chernihiv City Council 07.07.2015 granted urban planning conditions and restrictions on the development of the land plot approved by the decision of the Executive Committee of the Chernihiv City Council, which provided for the construction of two residential buildings and underground parking in the immediate vicinity of Eletsy Uspensky monastery of the XII century which is the monument of history and architecture.

Despite all objections of the public and the architectural and historical institutions of Chernihiv, the local prosecutor's office has recognized a legitimate construction permit at the Kniazia Chornoho Street, 4.

**Conclusions and suggestions.** The use of territories of the historical-cultural purpose must take place in obedience to all requirements of legislation, Landed code of Ukraine, consent the envisage establishments and organizations. Further maintenance of architectonically-historical sights for descendants depends on careful attitude of citizens of Chernihiv toward further development of city territory. That is why a question of the use of territories of the historical-cultural purpose must constantly be under intent attention of public.

**Key words:** lands of historical and cultural significance; the land; the zoning plan of Chernihiv.

Виктор Мовенко

## ОСОБЕННОСТИ ОТВОДА УЧАСТКОВ ЗЕМЕЛЬ ИСТОРИЧЕСКО-КУЛЬТУРНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Рассмотрены вопросы отвода земельных участков земель историческо-культурного назначения для строительства в городе Чернигове по адресу ул. Князя Чорного, 4. Приведено описание зон города и границ утвержденных зон, проанализировано проект отвода земельного участка.

**Ключевые слова:** земли историческо-культурного назначения; земельные участки; план зон г. Чернигова.

**Мовенко Віктор Іванович** – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Мовенко Виктор Иванович** – старший преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Movenko Victor** – senior lecturer of Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** Viktor.Movenko@gmail.com

**ORCID:** orcid.org/0000-0003-3395-3476

**ResearcherID:** http://www.researcherid.com/rid/H-2364-2016

**Google Scholar:** https://scholar.google.com.ua/citations?user=YNgIHagAAAAJ&hl=ru

**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;
- структуровану анотацію.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **50 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: 14027, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: **Кормило Ірина Миколаївна.**

Тел. роб.: (04622) 3-42-44

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*

*№ 2 (8)*

Відповідальний за випуск	О. І. Пилипенко
Коректор	О. С. Смелова
Комп'ютерна верстка і макетування	Т. М. Колот

Підписано до друку 06.06.2017. Формат 60x84/8. Друк різнографія.  
Гарнітура Times New Roman. Умов. друк. арк. – 29,76.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 385/17.

---

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету  
14027, 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.