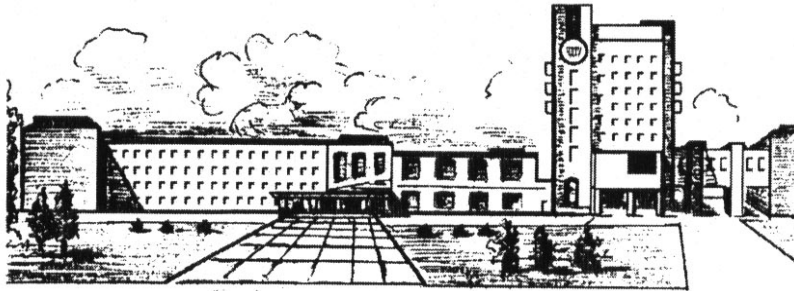


ISSN 2411-5363 (print)  
ISSN 2519-4569 (online)

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



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 4 (10)***

Чернігів 2017

УДК 62:67.05

T38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 11 від 27.11.2017 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.

T38      **Технічні науки та технології** : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – № 4 (10). – 278 с.

У цьому випуску журналу «Технічні науки та технології» вміщено статті, присвячені теоретичним та експериментальним дослідженням у галузях технічних наук: 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

**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;

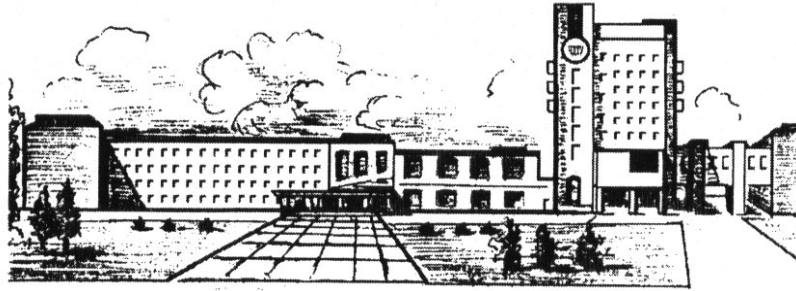
John N. Davies, Professor, Department of Computer Science, Glyndwr University, Wrexham, U.K.;

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 № 4 (10)***

Chernihiv 2017

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 11 dated 27.11.2017). 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. – № 4 (10). – 278 p.

This issue of the journal “Technical sciences and technologies” contains articles devoted to theoretical and experimental research in the field of technical sciences: 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

***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. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Ковалевський С., Ковалевська О.</i> Про неперіодичні коливання при динамічних навантаженнях виконавчого механізму мобільних верстатів з паралельною кінематикою.....	9
<i>Тонконогий В., Якимов А., Бовнегра Л., Безнос С., Добровольський В.</i> Снижение теплового фактора при плоском абразивном шлифовании.....	16
<i>Пасов Г., Следнікова О., Кологойда А.</i> Анімаційне моделювання рейкових та черв'ячно-рейкових передач для створення прямолінійного поступального руху.....	27
<i>Рудик А., Рудик В.</i> Ефективне формоутворення поверхонь обертання торцем круга.....	33
<i>Кальченко Д.</i> Теоретичне та експериментальне дослідження процесу двостороннього шліфування торців зі схрещеними осями циліндричних деталей та кругів з калібруючими ділянками.....	44

## РОЗДІЛ II. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Фальченко Ю., Новомлинець О., Петрушинець Л., Нагорна І.</i> Основи використання поверхневих фізико-хімічних процесів для прецизійного зварювання тиском.....	54
<i>Новомлинець О., Олексієнко С., Ющенко С., Половецький Є.</i> Прецизійне зварювання тиском алюмінієвих сплавів.....	67
<i>Болотов Г., Болотов М., Нагорна І.</i> Особливості з'єднання композиційних матеріалів у вузлах машин та будівельних конструкцій.....	77
<i>Клименко А., Анісімов В., Ситар В.</i> Вплив твердих шаруватих наповнювачів на фізико-механічні властивості композиційних покриттів на основі фенілону.....	86

## РОЗДІЛ III. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Казимир В., Юрченко Д.</i> Метод детектування руху для нестатичних камер або для камер з функцією PTZ.....	94
<i>Zarovsky R., Radchenko A.</i> Architecture of software for video surveillance systems with different types of cameras.....	101
<i>Fomenko V., Loutskii H., Rehida P., Volokyta A.</i> Thematic texts generation issues based on recurrent neural networks and word2vec.....	110

## РОЗДІЛ IV. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

<i>Денисов Ю., Ревко А., Середа О., Андрей Д.</i> Исследование путей повышения энергоеффективности системы электропривода беспилотного летательного аппарата.....	116
<i>Шмелев Ю., Бойко С., Городний А., Чернихова Е., Владов С.</i> Электротехнический комплекс контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей.....	123
<i>Шевченко В., Пахалюк Б., Гусев О.</i> Обзор основных технологий бездротовой зарядки накопителей энергии для маломощных систем.....	133
<i>Krasnozhon O., Shevchenko R., Khomenko O., Veligorskyi O.</i> Review of high step-up dc-ac power electronics solutions without galvanic isolation.....	147

## РОЗДІЛ V. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Гомеля М., Іванова В., Трус І.</i> Ефективність вилучення іонів важких металів з розведених розчинів іонообмінним методом.....	154
<i>Індутний В., Мережко Н., Калуга Ю.</i> Товарознавча оцінка антикварних монет на ринку України.....	163
<i>Сиза О., Савченко О., Журок І., Дорожжінська М.</i> Порошок з вичавків ягід калини в технології виробництва пшеничного хліба.....	176
<i>Заморська І.</i> Вміст токсичних елементів в ягодах суниці садової та продуктах переробки з них.....	189
<i>Крамаренко Д., Дуб В.</i> Дослідження впливу добавок гідробіонтів на властивості клейковини пшеничного борошна.....	195

<i>Мотузка Ю., Романенко О., Казаченко С.</i> Розчинність продуктів для ентерального харчування.....	203
<i>Пилипенко Т., Рябчун Ю., Єфімова В.</i> Дослідження якості косметичних кремів для рук .....	210
<i>Федорова Д.</i> Дослідження технологічних властивостей сухих рибо-рослинних напівфабрикатів та їх використання в харчових технологіях .....	217
<i>Данилюк І.</i> Технологія прісного тіста із порошком <i>ATHERINA PONTICA</i> та борошном пророщеного зерна пшениці .....	228
<i>Protsan N., Oliynichuk S., Verbytskyi S.</i> Effect of alkylresorcinols derivatives on the activity of enzyme preparations.....	235

#### РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

<i>Ігнатенко П., Ігнатенко О.</i> Вплив сушіння деревини на її міцність .....	241
<i>Квартенко О., Присяжнюк І.</i> Моделювання процесу кінетики видалення сполук заліза в біореакторі.....	247
<i>Корнієнко І., Терещук О., Корнієнко С., Кошма А.</i> Коригування статистичних показників погодних умов для зимового періоду чищення вулично-дорожньої мережі з використанням даних веб-ресурсу .....	255
<i>Крячок С., Мамонтова Л., Гайструк Г.</i> Визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра з використанням нового пристрою для прив'язки до стінних знаків.....	266

<b>ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ТА ПОДАЧІ РУКОПИСІВ НАУКОВИХ СТАТЕЙ</b> .....	277
---	-----

## CONTENT

### SECTION I. MECHANICAL AND AUTOMOBILE ENGINEERING TECHNOLOGY

<i>Kovalevskyy S., Kovalevska O.</i> About nonperiodic oscillations at dynamic loads of executive mechanism of mobile machines with parallel kinematics .....	9
<i>Tonkonogiy V., Yakimov O., Bovnegr L., Beznos S., Dobrovolskyi V.</i> Reducing the thermal factor in flat abrasive grinding .....	16
<i>Pasov H., Sliednikova O., Kolohoida A.</i> Animation modeling of river and wrench-recharge transmissions for establishing a primary linear motion .....	27
<i>Rudik A., Rudik V.</i> Effective shape formation of rotation surfaces with the butt end of wheel .....	33
<i>Kalchenko D.</i> Theoretical and experimental investigations of the process of double-sided grinding the end faces with skew axes of cylindrical parts, and circles with calibrated parts .....	44

### SECTION II. WELDING AND MATERIALS SCIENCE

<i>Falchenko Iu., Novomlynets O., Petrushynets L., Nahorna I.</i> Basic usage of surface physical-chemical processes for precision pressure welding .....	54
<i>Novomlynets O., Oleksiienko S., Yushchenko S., Polovetskiy E.</i> Precision pressure welding of aluminium alloys .....	67
<i>Bolotov G., Bolotov M., Nagorna I.</i> Features of connection of compozite materials in machine units and building structures .....	77
<i>Klimenko A., Anisimov V., Sytar V.</i> Impact of solid spherical fillers on physical and mechanical properties of composite coatings based on phenilone .....	86

### SECTION III. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Kazymyr V., Yurchenko D.</i> The method of motion detection for non static cameras or for cameras with PTZ function .....	94
<i>Zarovsky R., Radchenko A.</i> Architecture of software for video surveillance systems with different types of cameras .....	101
<i>Fomenko V., Loutskii H., Rehida P., Volokyta A.</i> Thematic texts generation issues based on recurrent neural networks and word2vec .....	110

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

<i>Denisov Yu., Revko A., Sereda O., Dymyrets A.</i> Research of ways of increasing the energy efficiency of the system of the electric device of the unmanned aerial vehicle .....	116
<i>Shmelyov Yu., Boiko S., Gorodny O., Chernikhova O., Vladov S.</i> Electrical engineering complex for status of aviation batteries .....	123
<i>Shevchenko V., Pakhaliuk B., Husev O.</i> Review the main technologies of the wireless charging of energy accumulators for small-purchasing systems .....	133
<i>Krasnozhan O., Shevchenko R., Khomenko O., Veligorskyi O.</i> Review of high step-up dc-ac power electronics solutions without galvanic isolation .....	147

### SECTION V. TECHNOLOGIES OF FOOD AND LIGHT INDUSTRY

<i>Gomelya N., Ivanova V., Trus I.</i> Efficiency of extraction heavy metal ions from diluted solutions by ion-exchange methods .....	154
<i>Indutny V., Merezhko N., Kaluga N.</i> Commodity assessment of antique coins in the market of Ukraine .....	163
<i>Sizaya O., Savchenko O., Zhurok I., Dorozhynska M.</i> Powder from the schrot of berries of kalina in the technology of production of wheat bread .....	176
<i>Zamorska I.</i> Content of toxic elements in strawberries and their processed products .....	189
<i>Kramarenko D., Dub V.</i> Research of the hydrobiont adjuncts effect on the wheat flour gluten properties .....	195

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

<i>Motuzka Iu., Romanenko E., Kazachenko S.</i> The solubility of products for enteral nutrition .....	203
<i>Pylypenko T., Riabchun Yu., Efimova V.</i> Investigation of the quality of hand creams.....	210
<i>Fedorova D.</i> The research of technological properties of dry fish&plant semi-products and their using in food technologies.....	217
<i>Danylyuk I.</i> Technology of unleavened dough from <i>ATHERINA PONTICA</i> powder and flour of which seed wheat grain .....	228
<i>Protsan N., Oliynichuk S., Verbytskyi S.</i> Effect of alkylresorcinols derivatives on the activity of enzyme preparations.....	235

## SECTION VI. CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT TECHNOLOGY

<i>Ignatenko P., Ignatenko E.</i> The effect of wood drying on its strength.....	241
<i>Kvartenko A., Prysiazhniuk I.</i> Modelling the kinetics of ferrum compounds removal in a bioreactor.....	247
<i>Korniienko I., Tereshchuk O., Korniienko S., Koshma A.</i> Correction of statistical indicators for weather conditions for the winter period of clearing the high-road network using web-resources data .....	255
<i>Kryachok S., Mamontova L., Haistruk R.</i> Determination of a constant correction of rangefinder of electronic total station with using a new device for removal of coordinates from wall marks.....	266

<b>BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES .....</b>	<b>277</b>
--	------------

# РОЗДІЛ І. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.913

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-9-15

Сергій Ковалевський, Олена Ковалевська

## ПРО НЕПЕРІОДИЧНІ КОЛИВАННЯ ПРИ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ ВИКОНАВЧОГО МЕХАНІЗМУ МОБІЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ КІНЕМАТИКОЮ

**Актуальність теми дослідження.** Особливе місце у розвитку механоскладального виробництва посідає обладнання, засноване на механізмах з паралельною кінематикою. Їх переваги проявляються в їх малій металоємності, енергоємності, динамічності, а також у кінематичних можливостях. Однак однією з важливих задач при конструюванні таких верстатів є динамічний аналіз виконавчої ланки, тому дослідження в цьому напрямку є актуальним.

**Постановка проблеми.** При прогнозуванні експлуатаційних характеристик мобільних верстатів-роботів на основі механізмів з паралельною кінематикою динамічний аналіз виконавчої ланки верстатної системи являє собою важливу задачу, рішення якої доцільно виконувати на основі залучення коштів імітаційного моделювання поведінки стрижневих просторових конструкцій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На основі проведеного аналізу останніх досліджень можна зробити висновок, що при конструюванні машин і механізмів вирішальну роль у виборі параметрів майбутнього виробу має обґрунтоване прогнозування його експлуатаційних показників, засноване на силових розрахунках. При цьому показники очікуваної точності виконавчих рухів виробу визначаються виходячи з обраних розрахункових схем, які засновані на припущеннях, що дозволяють звести їх до вирішуваних математичних конструкцій – рівнянням статичної і динамічної.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Здебільшого припущення у розрахунках при конструюванні верстатів дозволяють знаходити спільні рішення, які засновані на усталених режимах функціонування виробу, але не беруть до уваги деякі випадки, які становлять практичний інтерес і не є тривіальними. Це стосується, передусім, динамічних процесів, які можуть супроводжувати проектуваний виріб.

**Постановка завдання.** Провести аналіз виконавчої частини машинної системи на основі залучення засобів симуляційної поведінки просторових структур.

**Виклад основного матеріалу.** У процесі дослідження було запропоновано схему розрахунку, яка дозволила провести аналіз динаміки конструктивних особливостей і представлятиме просторову систему мас, що підвищується у просторі на гнучких елементах з параметрами жорсткості  $c_x$ ,  $c_y$ ,  $c_z$  та затухання  $h_x$ ,  $h_y$ ,  $h_z$ . Для цієї системи в межах малих амплітуд було зазначено, що частота правильних коливань  $f_0$  може бути розрахована із залежності частоти від маси і жорсткості.

Наведено схему динамічного аналізу виконавчої гілки машини з паралельною кінематикою, що складається з тіла маси  $m$ , підвешеного на двох пружинах з жорсткістю  $c_1$  і  $c_2$ . Для цієї схеми враховується математичний опис гармонічного осцилятора, який є виконавчою ланкою мобільної машини, якщо взяти до уваги обурений ефект.

Для вивчення особливостей динаміки навантаженої виконавчої частини мобільної машини в комп'ютерному середовищі Simulink було створено імітаційну модель. При заданих значеннях отримана реакція моделі на примусові гармонічні коливання. Величина амплітуд у такій моделі не перевищує 2 мм, однак заслуговують на увагу коливання квазівипадкової природи, хоча рівноважний ефект має синусоїдальну форму.

**Висновки.** Отриманий результат дозволяє припустити, що коливання з широким спектром частот та амплітуди виникають у виконавчій ланці мобільної машини, що може викликати резонанс елементів технологічної системи на широкому діапазоні частот. Такий режим роботи мобільних машин з механізмами паралельної кінематики повинен бути врахований при проектуванні технологічних процесів та технологічної підготовки виробництва для забезпечення продуктивності та точності обладнання протягом усього його терміну служби.

**Ключові слова:** динамічний аналіз; інтелектуальні верстати-роботи; паралельна кінематика.

Рис.: 6. Бібл.: 2.

**Постановка проблеми.** При конструюванні машин і механізмів вирішальну роль у виборі параметрів майбутнього виробу має обґрунтоване прогнозування його експлуатаційних показників, засноване на силових розрахунках. При цьому показники очікуваної точності виконавчих рухів виробу визначаються виходячи з обраних розрахункових схем, які засновані на певних припущеннях, що дозволяють звести їх до вирішуваних математичних конструкцій – рівнянням статичної і динамічної. Однак здебільшого такі припущення дозволяють знаходити спільні рішення, які стосуються усталених режимів функціонування виробів, але не беруть до уваги деякі випадки, які становлять практичний інтерес і не є тривіальними. Це стосується, насамперед, динамічних процесів, які можуть супроводжувати проектуваний виріб [6; 12].

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Розвиток механоскладального виробництва також засновано на застосуванні перспективних конструкцій основного технологічного устаткування. Тому знаходять застосування високошвидкісні багатоопераційні металорізальні верстати із системами числового програмного керування, технологічне оснащення гнучких верстатних модулів і виробництв, що роботизовано. Особливе місце в цьому процесі посідає обладнання, засноване на механізмах з паралельною кінематикою. Їх переваги проявляються в їх малій металоємності, енергоємності, динамічності, а також у кінематичних можливостях. Це робить таке обладнання привабливим для створення гнучких автоматизованих виробництв з меншими, в порівнянні з традиційними виробничими рішеннями, первинними витратами, а також витратами на постійне оновлення основних виробничих фондів для підтримки конкурентоспроможності продукції, що випускається за рахунок зниження її собівартості [7; 8; 6; 10; 11; 12].

Таким чином, при прогнозуванні експлуатаційних характеристик мобільних верстатів-роботів на основі механізмів з паралельною кінематикою динамічний аналіз виконавчої ланки верстатної системи являє собою важливу задачу, рішення якої доцільно виконувати на основі залучення коштів імітаційного моделювання поведінки стрижневих просторових конструкцій.

**Виклад основного матеріалу.** У розробленій Проблемною лабораторією мобільних інтелектуальних технологічних машин Донбаської державної машинобудівної академії конструкції мобільного верстата-робота як вихідна ланка використані механізми типу «трипод» і «тетрапод», який у поєднанні з дельта-механізмом і з пристроєм управління, заснованим на нейрон мережевої еталонної моделі механізму в робочому просторі (рис. 1).



Рис. 1. Конструкція і схема мобільного верстата-робота

Розрахункова схема, що дозволяє провести аналіз особливостей динаміки конструкції, може бути представлена просторовою системою маси  $m$ , підвішеної у просторі на гнучких елементах з показниками жорсткості  $c_x, c_y, c_z$  і демпфірування  $h_x, h_y, h_z$  (рис. 2).

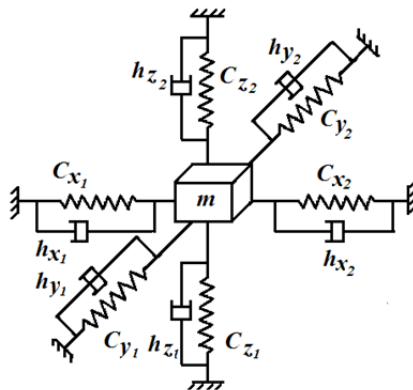


Рис. 2. Розрахункова схема механізму з паралельною кінематикою для імітаційного моделювання

Для цієї системи в межах малих амплітуд буде справедливим твердження про те, що частота власних коливань  $f_0$  маси  $m$  може бути розрахована за формулами (1):

$$f_{ox} = \sqrt{\frac{c_{1x} + c_{2x}}{m}}; \quad f_{oy} = \sqrt{\frac{c_{1y} + c_{2y}}{m}}; \quad f_{oz} = \sqrt{\frac{c_{1z} + c_{2z}}{m}}, \quad (1)$$

де  $f_0$  – частота власних коливань, Гц;  $m$  – маса, кг;  $c_{1x}$ ,  $c_{2x}$ ,  $c_{1y}$ ,  $c_{2y}$ ,  $c_{1z}$ ,  $c_{2z}$  – жорсткості Н/м.

Оскільки резонансна частота однакова для будь-якого напрямку осей, а маса матеріальної точки залишається тією ж самою для будь-якого вимірювання простору, то можна прийняти рівність (2):

$$c_{1x} + c_{2x} = c_{1y} + c_{2y} = c_{1z} + c_{2z}. \quad (2)$$

Виходячи з цього виразу можна обмежитися дослідженням особливостей динаміки системи, що складається з тіла масою  $m$ , підвішеного на двох пружинах з жорсткістю  $c_1$  і  $c_2$  так, як показано на рис. 3.

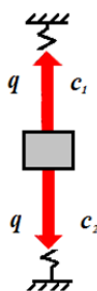


Рис. 3. Схема для динамічного аналізу виконавчої ланки верстата з паралельною кінематикою

Для цієї схеми одержано математичний опис гармонічного осцилятора, яким є виконавча ланка мобільного верстата, якщо взяти до уваги вплив сили, що підкоряється залежності (3):

$$x + \frac{1}{\tau} \dot{x} + \omega_0^2 x = \alpha_0 \cos \omega t. \quad (3)$$

Діючий вплив сили представлений у вигляді виразу (4):

$$\alpha_0 e^{i\omega t} \equiv \alpha_0 (\cos \omega t + i \sin \omega t). \quad (4)$$

Можна прийняти за рішення речову частину  $X$ , якщо  $\alpha_0$  у виразі  $\alpha_0 \cos \omega t$  це речова величина, то рішення знайдено (5):

$$x = X_0 e^{i\omega t}. \quad (5)$$

Тоді:

$$\left( -\omega^2 + \frac{i\omega}{\tau} + \omega_0^2 \right) X_0 e^{i\omega t} = \alpha_0 e^{i\omega t}. \quad (6)$$

Звідси:

$$X_0 = \frac{\alpha_0}{\omega_0^2 - \omega^2 + i(\omega/\tau)} \cdot \frac{\omega_0^2 - \omega^2 - i(\omega/\tau)}{\omega_0^2 - \omega^2 - i(\omega/\tau)} = \alpha_0 \frac{\omega_0^2 - \omega^2 - i(\omega/\tau)}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2}. \quad (7)$$

А речова і уявна частини знаходяться як:

$$\operatorname{Re}(X_0) = \frac{(\omega_0^2 - \omega^2) \alpha_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2}; \quad (8)$$

$$\operatorname{Im}(X_0) = \frac{-(\omega/\tau)\alpha_0}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2}. \quad (9)$$

При великих значеннях  $\tau$  затухання послаблюється і збільшується уявна частина зсуву при резонансі.

Для амплітуди зміщення можна записати (10):

$$\rho = (X_0 X_0^*)^{1/2} = \frac{\alpha_0}{[(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\omega/\tau)^2]^{1/2}}. \quad (10)$$

Тоді сила, що діє у виконавчій ланці, може бути визначена за формулою (11):

$$P = -\frac{1}{2} M \alpha_0 \omega I_m(x_0) = \frac{1}{2} M \alpha_0^2 \frac{\omega^2/\tau}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (\frac{\omega}{\tau})^2}. \quad (11)$$

Отриманий вираз повністю узгоджується з висновками, представленими в роботах [9; 1; 2; 3; 4; 5].

Для дослідження особливостей динаміки навантаженого виконавчої ланки мобільного верстата була створено імітаційну модель у комп'ютерному середовищі Simulink (рис. 4).

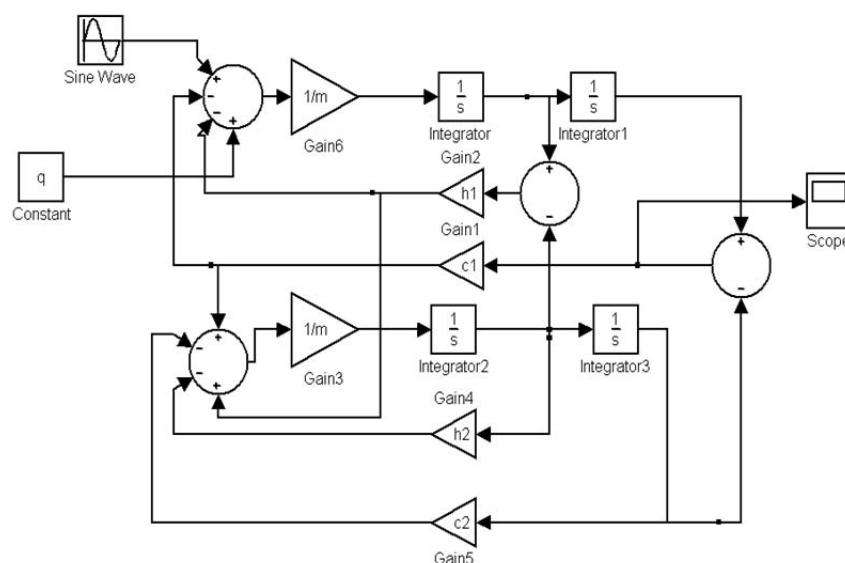


Рис. 4. Імітаційна модель виконавчої ланки мобільного верстата в Simulink

При заданих значеннях  $m = 20$ ;  $c_1 = 20$ ;  $h_1 = 0,02$ ;  $c_2 = 30$ ;  $h_2 = 0,03$ ;  $q = 10$ ; амплітуді вимушених гармонічних коливань  $0,2 \text{ мкм}$ , отримана реакція моделі на вимушені гармонійні коливання у вигляді, представленому на рис. 5.

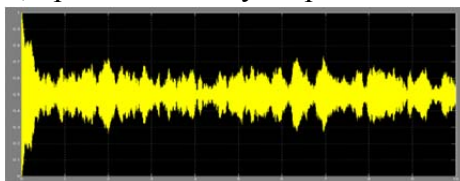


Рис. 5. Тимчасова діаграма коливань виконавчої ланки мобільного верстата при вимушених гармонійних коливаннях

Значення амплітуд у такій моделі не перевищує  $2 \text{ мкм}$ , однак заслуговує на увагу квазिवипадковий характер коливань.



Для випробувань випадковим впливом з характеристиками:

Mean=0; Variance = 1; Seed=0; Sample time = 0,1.

Характер коливань виконавчої ланки аналогічний наведеному вище і по амплітуді також не перевищують 2 мкм (рис. 6):

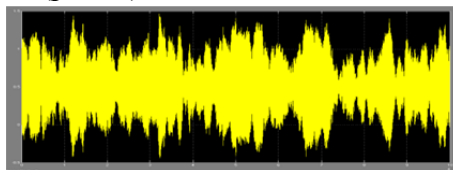


Рис. 6. Тимчасова діаграма коливань виконавчої ланки мобільного верстата при вимушених випадкових впливах

**Висновки і пропозиції.** Отриманий результат дозволяє припустити, що у виконавчій ланці мобільного верстата виникають коливання з широким частотним і амплітудним спектром, здатні викликати резонанс елементів технологічної системи у широкому діапазоні частот. Такий режим роботи мобільних верстатів з механізмами паралельної кінематики повинен враховуватися при проектуванні технологічних процесів і при технологічній підготовці виробництва з метою забезпечення продуктивності й точності обладнання протягом усього терміну його експлуатації.

#### Список використаних джерел

1. Aubry S. Breathers in nonlinear lattices: Existence, linear stability and quantization / S. Aubry // *Physica D*. – 1997. – Vol. 103. – Pp. 201–250.
2. Friesecke G. Existence theorem for solitary waves on lattices / G. Friesecke, J. Wattis // *Commun. Math. Phys.* – 1994. – Vol. 161. – Pp. 391–418.
3. Iooss G. Traveling waves in a chain of coupled nonlinear oscillators / G. Iooss, K. Kirschgässner // *Commun. Math. Phys.* – 2000. – Vol. 211. – Pp. 439–464.
4. Kreiner C.-F. Heteroclinic travelling waves for the lattice sine-Gordon equation with linear pair interaction / C.-F. Kreiner, J. Zimmer // *Discrete and continuous dynamical systems*. – 2009. – Vol. 25, Number 3, November. – Pp. 1–17.
5. Smets D. Solitary waves with prescribed speed on infinite lattices / D. Smets, M. Willem // *J. Funct. Anal.* – 1997. – Vol. 149. – Pp. 266–275.
6. Афонин В. Л. Обработывающее оборудование на основе механизмов параллельной структуры / В. Л. Афонин, П. В. Подзоров, В. В. Слепцов ; под общ. ред. В. Л. Афонина. – М. : Изд-во МГТУ Станкин, Янус; К., 2006. – 452 с.
7. Кириченко А. М. Проведення до зони обробки жорсткості та податливості обладнання з механізмами паралельної структури / А. М. Кириченко // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія «Машинобудування». – 2010. – № 59. – С. 205–210.
8. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою : навчальний посібник для ВНЗ / В. А. Крижанівський, Ю. М. Кузнєцов, І. А. Валявський, Р. А. Скларов ; під ред. Ю. М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.
9. Акимов О. О. Дослідження впливу пружності ресорного кріплення тарілок на їх амплітуді вимушених коливань / О. О. Акимов, О. Л. Ігнатенков, Є. К. Платонов // V Міжнародна науково-практична конференція 19–22 травня 2015 року «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧНТУ, 2015. – С. 167–170.
10. Смирнов В. А. Кинестатическое моделирование энергоэффективного управления оборудованием с параллельной кинематикой / В. А. Смирнов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2010. – Вып. 16, № 29. – С. 65–70.
11. Смирнов В. А. Повышение производительности обработки на оборудовании с параллельной кинематикой / В. А. Смирнов // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение»*. – 2010. – Вып. 15, № 10 (186). – С. 72–76.
12. Струтинський В. Б. Теоретичний аналіз жорсткості шестикоординатного механізму паралельної структури / В. Б. Струтинський, А. М. Кириченко // *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Серія «Машинобудування». – 2009. – № 57. – С. 198–207.

## References

1. Aubry, S., (1997). Breathers in nonlinear lattices: Existence, linear stability and quantization. *Physica D*, no. 103, pp. 201–250.
2. Friesecke, G., Wattis J., (1994). Existence theorem for solitary waves on lattices, *Commun. Math. Phys.*, no. 161, pp. 391–418.
3. Iooss, G., Kirschgässner K., (2000). Traveling waves in a chain of coupled nonlinear oscillators, *Commun. Math. Phys.*, no. 211, pp. 439–464.
4. Kreiner, C.F., Zimmer J., (2009). Heteroclinic travelling waves for the lattice sine-Gordon equation with linear pair interaction. *Discrete and continuous dynamical systems*, no. 25, pp. 1–17.
5. Smets, D., Willem M., (1997). Solitary waves with prescribed speed on infinite lattices. *Funct. Anal.*, no. 149, pp. 266–275.
6. Afonin, V.L., Podzorov, P.V., Sleptsov, V.V. (2006). *Obrabatyvayushcheye oborudovaniye na osnove mekhanizmov parallel'noy struktury* [Processing equipment based on the mechanisms of a parallel structure]. Moscow: MGTU Stankin, Janus (in Russian).
7. Kirichenko, A.M. (2010). Conducting to the zone of processing rigidity and compliance of equipment with mechanisms of parallel structure [Provedennya do zony obrobky zhorstkosti ta podatlyvosti obladnannya z mekhanizmamy paralelnoyi struktury]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukraini «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya «Mashynobuduvannya» – Bulletin of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Series “Machine Building”, no. 59, pp. 205–210 (in Ukrainian).*
8. Kryzhanivsky, V.A., Kuznetsov, Yu.M. (ed.), Valiavsky, I.A., Sklyarov, R.A. (2004). *Tekhnologichne obladnannya z paralelnoiu kinematykoiu* [Technological Equipment with Parallel Kinematics]. Kirovograd (in Ukrainian).
9. Akimov, O., Ignatenkov O.L., (2015). Doslidzhennia vplyvu pruzhnosti resornoho kriplennia tarilok na yikh amplitudi vymushenykh kolyvan [Investigation of the influence of elasticity of spring support of plates on their amplitude of forced oscillations]. Proceeding from *V Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnykh protsesiv ta system» – V International Scientific and Practical Conference “Integrated quality assurance of technological processes and systems”* (May 19-22, 2015), pp. 167–170 (in Ukrainian).
10. Smirnov, V.A. (2010). Kinetostateskoe modelirovaniye energoeffektivnogo upravleniya oborudovaniem s paralelnoi kinematikoi [Kinetostatic modeling of energy-efficient control of equipment with parallel kinematics]. *Vestnik IUURGU Seriya “Mashinostroenie” – Bulletin of the YuURGU. Series “Machine-building”, vol. 16, no. 29, pp. 65–70 (in Russian).*
11. Smirnov, V.A. (2010). Povysheniye proizvoditelnosti obrabotki na oborudovanii s paralelnoi kinematikoi [Increase of productivity of processing on the equipment with parallel kinematics]. *Vestnik IUURGU Seriya “Mashinostroenie” – Bulletin of the YuURGU. Series “Machine-building”, vol. 15, no. 10 (186), pp. 72–76 (in Russian).*
12. Strutinsky, V.B. (2009). Teoretychniy analiz zhorstkosti shestykoordinatnoho mekhanizmu paralelnoi struktury [Theoretical analysis of the stiffness of a six-coordinate mechanism of a parallel structure]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukraini «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya «Mashynobuduvannya» – Bulletin of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”. Series “Machine Building”, no. 57, pp. 198–207 (in Ukrainian).*

UDC 621.913

Serhiy Kovalevskyy, Olena Kovalevska

# ABOUT NONPERIODIC OSCILLATIONS AT DYNAMIC LOADS OF EXECUTIVE MECHANISM OF MOBILE MACHINES WITH PARALLEL KINEMATICS

**Urgency of the research.** A special place in the development of mechano-assembly production begins to occupy equipment based on mechanisms with parallel kinematics. Their advantages are manifested in their low metal capacity, energy intensity, dynamism, and also in kinematic possibilities. However, one of the important tasks in constructing such machines is a dynamic analysis of the executive branch; therefore research in this direction is relevant.

**Target setting.** In forecasting the operational characteristics of mobile robot machines on the basis of mechanisms with parallel kinematics, the dynamic analysis of the executive part of the machine tool system is an important task, the solution of which is expedient to perform on the basis of attracting funds simulation behavior of the spatial structures of the spatial structure.

**Actual scientific researches and issues analysis.** On the basis of the analysis of recent studies, we can conclude that the design of machines and mechanisms crucial role in choosing the parameters of the future product has a reasonable prediction of its performance indicators, based on strength and strength calculations. At the same time, the indicators of the expected accuracy of the executive motions of the product are determined based on the chosen calculation schemes, which are based on a number of assumptions that allow them to be reduced to solvable mathematical constructions – the equation of statics and dynamics.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In some cases, assumptions in calculations in the design of machines, allow you to find common solutions that are based on the established modes of operation of the product, but drop some cases that are of practical interest and are not trivial. This applies, first of all, to the dynamic processes that can accompany the projected product.

**The research objective.** Conduct an analysis of the executive part of the machine system based on the attraction of the simulation behavior of spatial structures.

**The statement of basic materials.** In the course of the study, a calculation scheme was proposed that allowed an analysis of the dynamics of the design features, and is represented by a spatial mass system  $m$  suspended in space on flexible elements with rigidity parameters  $c_x, c_y, c_z$  and damping  $h_x, h_y, h_z$ . For this system, within the limits of small amplitudes, it has been stated that the frequency of the proper oscillations  $f_0$  can be calculated from the dependence of the frequency on mass and stiffness.

The scheme for dynamic analysis of the executive branch of the machine with parallel kinematics consisting of a body of mass  $m$ , suspended on two springs with rigidity  $c_1$  and  $c_2$ , is presented. For this scheme a mathematical description of the harmonic oscillator, which is the executive link of the mobile machine, is taken, if we take into account the perturbing effect.

To study the peculiarities of the dynamics of the loaded executive part of the mobile machine, an imitation model was created in the Simulink computer environment. At given values, the reaction of the model to forced harmonic oscillations is obtained. The magnitude of the amplitudes in such a model does not exceed 2 mm, however, deserves attention to the quasi-random nature of oscillations, although the equilibrium effect has a sinusoidal form.

**Conclusions.** The obtained result suggests that oscillations with a wide frequency and amplitude spectrum arise in the executive link of the mobile machine, which can cause resonance of the elements of the technological system over a wide range of frequencies. Such a mode of operation of mobile machines with mechanisms of parallel kinematics should be taken into account in the design of technological processes and in the technological preparation of production in order to ensure the productivity and accuracy of equipment throughout its lifetime.

**Key words:** dynamic analysis; intellectual machines-works; parallel kinematics.

Fig.: 6. Bibl.: 12.

УДК 621.913

Сергей Ковалевский, Елена Ковалевская

## О НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА МОБИЛЬНЫХ СТАНКОВ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИКОЙ

В данной статье рассмотрены вопросы динамического анализа исполнительного звена станочной системы. Проведен анализ расчетной схемы, состоит из пространственной системы, подвешенной в пространстве на гибких элементах. Получено математическое описание гармонического осциллятора, которым является исполнительное звено мобильного станка. Создана имитационная модель в компьютерной среде Simulink для исследования особенностей динамики нагруженной исполнительной звена мобильного станка. Получена реакция модели на вынужденные гармонические колебания, которая имеет квази случайный характер, при синусоидальном воздействии. Полученный результат позволяет предположить, что в исполнительном звене мобильного станка возникают колебания с широким частотным и амплитудным спектром, способные вызвать резонанс элементов технологической системы в широком диапазоне частот.

**Ключевые слова:** динамический анализ; интеллектуальные станки-работы; параллельная кинематика.

Рис.:6. Библ.: 12.

**Ковалевський Сергій Вадимович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології машинобудування Донбаської державної машинобудівної академії (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84300, Україна).

**Ковалевский Сергей Вадимович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии машиностроения Донбасской государственной машиностроительной академии (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84300, Украина).

**Kovalevskyy Serhiy** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Manufacturing Engineering Donbas State Engineering Academy (72 Akademicheskaya Str., 84300, Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** kovalevskii@dgma.donetsk.ua

**Ковалевська Олена Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології машинобудування Донбаської державної машинобудівної академії (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84300, Україна).

**Ковалевская Елена Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения Донбасской государственной машиностроительной академии (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84300, Украина).

**Kovalevska Olena Sergeevna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Manufacturing Engineering Donbas State Engineering Academy (72 Kramatorsk, Akademicheskaya Str., 84300 Kramatorsk, Ukraine).

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

УДК 621.9.06.-229.331

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-16-26

Владимир Тонконогий, Алексей Якимов, Любовь Бовнегра,  
Светлана Безнос, Виталий Добровольский

## СНИЖЕНИЕ ТЕПЛОВОГО ФАКТОРА ПРИ ПЛОСКОМ АБРАЗИВНОМ ШЛИФОВАНИИ

**Актуальность темы исследования.** Шлифование сопровождается выделением тепла, под действием которого в поверхностном слое обрабатываемой детали образуются прижоги и остаточные растягивающие напряжения. Шлифовочные дефекты являются источниками разрушения детали.

**Постановка проблемы.** Применение кругов с прерывистой рабочей поверхностью позволяет снизить температуру в зоне резания. Абразивная промышленность не выпускает прерывистые круги на керамической связке по причине несовершенства технологии их изготовления.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Широкое применение прерывистых кругов на машиностроительных предприятиях сдерживается противоречивостью методик по расчету длин впадин и режущих выступов.

**Выделение не исследованных ранее частей общей проблемы.** Проблема снижения теплонапряженности процесса шлифования может быть решена на основе дальнейшего изучения теплофизических и динамических составляющих процесса обработки прерывистыми кругами.

**Постановка задания.** Целью научного исследования является выявление путей снижения теплонапряженности процесса шлифования.

**Изложение основного материала.** Проведено моделирование процесса нарастания тепла в фиксированной точке обрабатываемой поверхности по мере многократного воздействия на нее тепловой энергией, выделяемой при срезах металла отдельными выступами прерывистого круга. Проведены исследования по выявлению влияния размеров и количества геометрических элементов рабочей поверхности прерывистого круга на параметрическую устойчивость упругой системы станка.

**Выводы к статье.** Разработаны рекомендации по расчету протяженностей выступов и впадин прерывистого круга с учетом теплового и динамического факторов. Получены данные, позволившие подтвердить гипотезу, согласно которой прерывистые круги с большим числом прорезей на рабочей поверхности и высокопористые круги могут снижать температуру в зоне резания с одинаковым эффектом.

**Ключевые слова:** прерывистые круги; высокопористые круги; прижоги; абразивный инструмент.

Рис.: 6. Библ.: 16.

**Постановка проблемы.** Качество поверхностного слоя деталей машин формируется на стадии финишных операций. Наиболее распространенной финишной операцией является шлифование. В зоне резания при шлифовании действуют высокие температуры, под действием которых в поверхностном слое обрабатываемых деталей могут появляться прижоги, трещины и высокие растягивающие напряжения. Снизить теплонапряженность процесса шлифования можно применением абразивных кругов, рабочая поверхность которых состоит из чередующихся выступов и впадин.

С середины 60-х и до конца 70-х годов XX века прерывистые шлифовальные круги применялись на машиностроительных предприятиях Советского Союза. Широкое использование этих кругов сдерживалось тем обстоятельством, что абразивная промышленность не выпускала прерывистые круги на керамической связке. Машиностроительные заводы были вынуждены сами формировать впадины на обычных абразивных кругах. Для этой цели использовались заточные станки, оснащенные делительными механизмами. В эти же годы прошлого века было опубликовано много научных работ, посвященных расчету геометрических параметров рабочей поверхности прерывистых кругов [1–5]. Несмотря на многолетние и многочисленные исследования процесса прерывистого шлифования и многочисленные методики по расчету геометрических параметров прерывистых кругов, их использование на машиностроительных предприятиях из года в год сокращается. Это объясняется тем, что одна и та же совокупность длин выступов и впадин для одних и тех же условий шлифования может способствовать возникновению двух разнозначных эффектов: требуемому понижению температуры в зоне резания и параметрическому резонансу в упругой системе станка [6].

Возникновение ситуации, когда применение прерывистого круга приводит к появлению эффектов, противоположно влияющих на качество поверхностного слоя обрабатываемой

детали, обусловлено противоречивостью подходов при разработке методик для расчета протяженностей выступов и впадин на рабочей поверхности абразивного инструмента. Это предполагает необходимость дальнейшего поиска новых решений в этом направлении.

**Анализ последних исследований и публикаций.** С 90-х годов XX века интерес к прерывистому шлифованию возобновился и стали появляться научные работы, содержащие методики расчета протяженностей режущих выступов и впадин на рабочих поверхностях кругов [6–8].

**Выделение не решенных ранее частей общей проблемы.** В большинстве методик [1–8] рассчитывается только протяженность режущего выступа  $l_1$ . Величину впадины  $l_2$  не рассчитывают, а принимают равной  $l_2 = (0,3...0,5) \cdot l_1$  из соображений износостойкости кругов [4].

**Цель статьи.** Главной целью этой работы является изыскание путей понижения теплонапряженности процесса шлифования с обеспечением микро- и макрогеометрии обработанной поверхности.

**Изложение основного материала.** Рассмотрим расчетную схему плоского шлифования, в которой снимаемый припуск представлен в виде множества элементарных прямолинейных стержней, расположенных по нормали и обрабатываемой поверхности (рис. 1) [9].

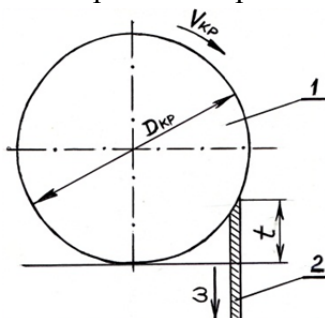


Рис. 1. Расчетная схема удаления припуска при плоском шлифовании:  
1 – шлифовальный круг; 2 – стержень, вырезанный на обрабатываемой детали;  $t$  – глубина шлифования

В процессе шлифования стержни перерезаются со скоростью  $\omega = V_{\text{дет}} \cdot \sqrt{t/D_{\text{кр}}}$ , где  $V_{\text{дет}}$  – скорость перемещения детали, м/с;  $t$  – глубина резания, м;  $D_{\text{кр}}$  – диаметр шлифовального круга, м.

Нестационарный тепловой режим прерывистого шлифования, сопровождающийся периодическим прерыванием контакта круга с обрабатываемой деталью, открывает принципиально новые возможности управления теплонапряженностью процесса. Если длительность процесса шлифования за счет изменения протяженности режущих выступов прерывистого круга сделать меньше времени теплового насыщения, то температура в зоне контакта круга с обрабатываемой деталью не будет достигать своих максимальных значений и может быть ограничена.

На рис. 2 представлен характер изменения температуры от времени воздействия теплового источника. За период прохождения режущего выступа  $\tau_1$  обрабатываемая поверхность нагревается до температуры  $\Theta_2^\circ$ , а за время прерывания процесса  $\tau_2$  температура поверхности понижается до  $\Theta_1^\circ$ . Количество тепла  $Q_1$ , необходимое для нагревания поверхности за время  $\tau_1$ , можно приравнять к количеству тепла  $Q_2$ , поглощаемому при охлаждении поверхности от  $\Theta_2^\circ$  до  $\Theta_1^\circ$  за время  $\tau_2$ .

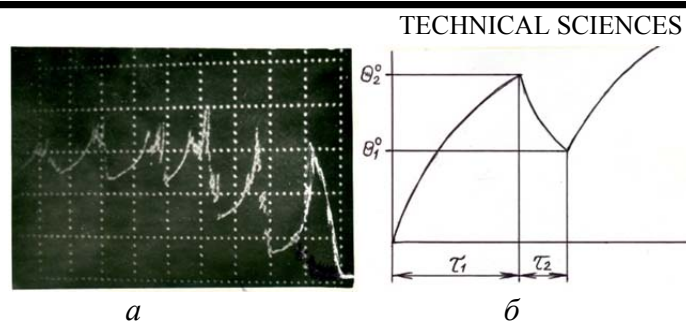


Рис. 2. Характер изменения температуры резания при прерывистом шлифовании: а – осциллограмма; б – расчетная схема

Параметры  $Q_1$  и  $Q_2$  определяются по следующим формулам [9]:

$$Q_1 = q_1 \cdot \tau_1 = \delta \cdot \omega \cdot \tau_1, \quad (1)$$

$$Q_2 = q_2 \cdot \tau_2, \quad (2)$$

где  $q_1$  и  $q_2$  – интенсивности тепловых потоков, Вт/м<sup>2</sup>,  $q_2 = \alpha \cdot (\Theta_1^\circ + \Theta_2^\circ)/2$ ;

$\alpha$  – коэффициент теплоотвода, Вт/(м<sup>2</sup> · °С);

$\delta$  – условное напряжение резания, Н/(м<sup>2</sup> · °С),  $\delta = (Fz \cdot V_{кр})/Qn$ ;

$V_{кр}$  – окружная скорость шлифовального круга, м/с;

$Qn$  – производительность обработки, м<sup>3</sup>/с,  $Qn = B \cdot V_{кр} \cdot t$ ;

$B$  – ширина шлифования, м;

$Fz$  – тангенциальная составляющая силы резания, Н.

Тангенциальную составляющую силы резания  $Fz$  при плоском шлифовании можно рассчитать по следующей формуле [10]:

$$Fz = \frac{0,382}{V_{кр}^{0,26}} \cdot \left( \frac{Kv \cdot \sigma \cdot A \cdot V_{дет} \cdot l\phi}{R_{кр}} \right)^{0,3} \cdot (\varepsilon \cdot \alpha)^{0,7} \cdot (D_{кр} \cdot t)^{0,347} \cdot S' \cdot n_{уд}, \quad (3)$$

где  $Kv$  – температурно-скоростной коэффициент,  $Kv = 2,74 \cdot 10^6 \cdot V_{кр}^{0,4}$ ;

$\sigma$  – предел прочности при статистических методах исследований, МПа;

$R_{кр}$  – радиус шлифовального круга, м;

$$A = \frac{\cos \gamma' - \mu \cdot \sin \gamma'}{\sin \Theta' (1 - \mu \cdot \mu') \cdot \cos(\gamma' + \Theta') + (\mu + \mu') \cdot \sin(\gamma' + \Theta')},$$

$\Theta'$  – угол скалывания,  $\Theta' = 45^\circ - (\gamma' + \mu + \mu')/2$ ;

$$\gamma' - \text{передний угол, } \gamma' = \frac{1}{2} \cdot \left( \pi - \arcsin \frac{3 \cdot 10^{-6}}{\sqrt{r}} \right);$$

$\mu$ ,  $\mu'$  – коэффициент трения зерна о металл и коэффициент внутреннего трения при пластической деформации обрабатываемого материала соответственно;

$r$  – радиус закругления режущего зерна, мкм;

$\varepsilon$  – коэффициент тепловой активности металла,  $\varepsilon = \sqrt{\lambda \cdot c \cdot \rho}$ ;

$\rho$ ,  $\lambda$ ,  $c$  – плотность (кг/м<sup>3</sup>), теплопроводность (Дж/(м·с·°С)) и теплоемкость (Дж/(кг·°С)) обрабатываемого материала соответственно;

$\alpha$  – коэффициент температуропроводности обрабатываемого материала, м<sup>2</sup>/с,  $\alpha = \lambda/(c \cdot \rho)$ ;

$l\phi$  – фактическое расстояние между режущими зернами на рабочей поверхности шлифовального круга, м,  $l\phi = 6,48 \cdot V_{кр}^{0,5} \cdot n_{уд}^{-0,5}$ ;

$S'$  – поперечная подача шлифовального круга, мм/дв.ход;

$n_{y0}$  – фактическое количество работающих зерен [11],  $n_{y0} = 111 \cdot 10^6 \cdot N_3^{-1,3} \cdot N_{стр}^{-0,17}$ ;

$N_3$  – номер зернистости круга;

$N_{стр}$  – номер структуры шлифовального круга.

В работе [12] предполагается расчет радиусов закругления режущих зерен  $r$  осуществлять по следующим формулам: для электрокорунда белого  $r = 10^{-6} \cdot N_3^{-0,85}$ ; для карбида кремния зеленого  $r = 1,4 \cdot 10^{-6} \cdot N_3^{-0,85}$ ; для алмаза  $r = 0,25 \cdot 10^{-6} \cdot N_3^{-0,85}$ .

Время нагрева поверхности  $\tau_1$  определяется из следующего выражения [9]:

$$\tau_1 = \frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \omega^2} \cdot \ln \left[ \frac{c \cdot \rho \cdot (\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)}{\delta} \right]. \quad (4)$$

Время охлаждения определяется из условия  $Q_1 = Q_2$  с учетом зависимостей (1) и (2):

$$\tau_2 = \frac{q_1}{q_2} \cdot \tau_1 = \frac{\lambda \cdot \delta}{\alpha \cdot (\Theta_1^\circ + \Theta_2^\circ) \cdot c \cdot \rho \cdot \omega} \cdot \ln \left[ \frac{c \cdot \rho \cdot (\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)}{\delta} \right]. \quad (5)$$

Зная  $\tau_1$  и  $\tau_2$ , можно оценить производительность обработки  $Q_u$  за время одного цикла ( $\tau_1 + \tau_2$ ):

$$Q_u = \frac{s \cdot \omega \cdot \tau_1}{(\tau_1 + \tau_2)} = \frac{s \cdot \omega}{\left(1 + \frac{q_1}{q_2}\right)} = \frac{s \cdot \omega}{\left[1 + \frac{\delta \cdot \omega \cdot 2}{\alpha \cdot (\Theta_1^\circ + \Theta_2^\circ)}\right]} = \frac{s}{\left[\frac{1}{\omega} + \frac{2 \cdot \delta}{\alpha \cdot (\Theta_1^\circ + \Theta_2^\circ)}\right]}, \quad (6)$$

где  $s$  – площадь поперечного сечения элементарного прямолинейного стержня, расположенного по нормали к обрабатываемой поверхности,  $m^2$ .

Из анализа выражения (6) видно, что увеличить производительность цикла можно за счет увеличения скорости  $\omega$  внедрения режущих зерен в обрабатываемый материал и коэффициента теплоотвода  $\alpha$ , а также уменьшения условного напряжения резания  $\delta$ , т.е. обеспечения высокой режущей способности зерен. При шлифовании кругом с прерывистой рабочей поверхностью скорость внедрения режущих зерен в металл возрастает на величину  $(1 + l_2/l_1)$ , где  $l_2$  – длина режущего выступа круга,  $l_1$  – длина выреза на круге [9]. Следовательно, выражения (4) и (5) для прерывистого шлифования примут вид:

$$\tau'_1 = \frac{\lambda}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (1 + l_2/l_1)^2} \cdot \ln \left[ \frac{c \cdot \rho \cdot (\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)}{\delta} \right]; \quad (7)$$

$$\tau'_2 = \frac{\lambda \cdot \delta}{\alpha \cdot (\Theta_1^\circ + \Theta_2^\circ) \cdot c \cdot \rho \cdot \omega \cdot (1 + l_2/l_1)} \cdot \ln \left[ \frac{c \cdot \rho \cdot (\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)}{\delta} \right]. \quad (8)$$

Геометрические параметры прерывистого круга определяются из выражений:

$$l'_1 = \frac{\lambda \cdot V_{кр}}{2 \cdot c \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (1 + l_2/l_1)^2} \cdot \ln \left[ \frac{c \cdot \rho \cdot (\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)}{\delta} \right]; \quad (9)$$

$$l'_2 = \frac{\lambda \cdot \delta \cdot V_{кр}}{\alpha \cdot (\Theta_1^\circ + \Theta_2^\circ) \cdot c \cdot \rho \cdot \omega \cdot (1 + l_2/l_1)} \cdot \ln \left[ \frac{c \cdot \rho \cdot (\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)}{\delta} \right]. \quad (10)$$

Для обеспечения целого четного числа режущих выступов, их количество необходимо рассчитывать по формуле:

$$n = \frac{\pi \cdot D_{кр}}{(l'_1 + l'_2)}. \quad (11)$$



Расчет геометрических параметров прерывистого круга производится в следующей последовательности: по формулам (9) и (10) производится расчет протяженностей выступов  $l_1$  и впадин  $l_2$  без учета увеличения скорости внедрения режущих зерен в обрабатываемый материал, т.е. без учета коэффициента  $(1 + l_2/l_1)$ , а затем осуществляется корректировка расчетных значений: длина режущего выступа  $l_1$  делится на  $(1 + l_2/l_1)^2$ , а длина прорези  $l_2$  делится на  $(1 + l_2/l_1)$ . После этого определяется количество режущих выступов на круге по формуле (11). Из анализа выражений (9) и (10) следует, что при фиксированном значении разности температур  $(\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)$  протяженности выступов  $l'_1$  и впадин  $l'_2$  тем меньше, чем больше величина коэффициента  $(1 + l_2/l_1)$ . Другими словами, для обеспечения заданной разности температур  $(\Theta_2^\circ - \Theta_1^\circ)$  с увеличением величины отношения протяженности впадины  $l_2$  к длине выступа  $l_1$  необходимо увеличивать количество прорезей на рабочей поверхности шлифованного круга. Если увеличить  $(l_2/l_1)$  и при этом сохранить прежнее количество прорезей  $n$  на абразивном инструменте, то разность максимальной  $\Theta_2^\circ$  и минимальной  $\Theta_1^\circ$  температур первого цикла прерывистого шлифования возрастет (рис. 2). Из выражений (9) и (10) видно, что для сохранения этой разности на прежнем уровне, необходимо уменьшить длины выступов  $l'_1$  и впадин  $l'_2$ , причем размеры режущих выступов  $l'_1$  должны быть уменьшены в большей степени, чем протяженности прорезей  $l'_2$ . Но это приведет к уменьшению величины отношения  $(l'_2/l'_1)$  и увеличению числа прорезей на круге. Таким образом, для сохранения фиксированного значения разности максимальной и минимальной температур в первом цикле прерывистого шлифования необходимо при уменьшении  $(l'_2/l'_1)$  увеличивать количество прорезей  $n$  на рабочей поверхности абразивного инструмента. Приведенные рассуждения хорошо согласуются с данными по расчету температур при прерывистом шлифовании  $T_k$  [13].

На рис. 3 представлена зависимость температуры, возникающей при плоском шлифовании прерывистым абразивным кругом, от количества прорезей на рабочей поверхности инструмента  $n$  и от величины отношения  $N = (l'_2/l'_1)$  [13].

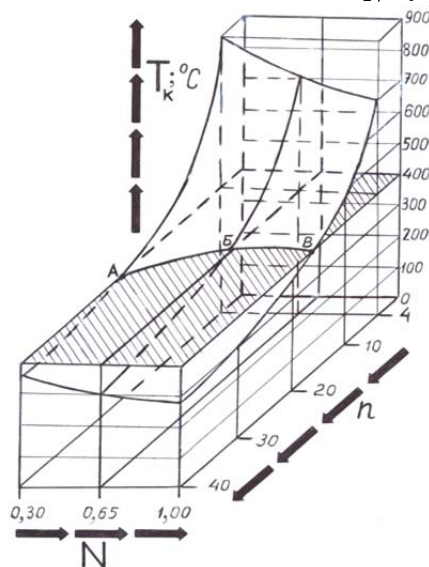


Рис. 3. Зависимость температуры шлифования  $T_k$  от числа режущих выступов  $n$  на круге и от величины отношения  $N = (l'_2/l'_1)$

Приведенная зависимость  $T_k = f(N, n)$  рассчитана по формуле:



$$T_k = \frac{2 \cdot \psi \cdot q}{\sqrt{c \cdot \rho \cdot \lambda}} \cdot \sum_{i=1}^k \left[ \sqrt{(k-i+1) \cdot \frac{l'_2}{l'_1} + (k-i) \cdot \frac{l'_2}{V_{кр}}} \times \right. \\ \times \operatorname{ierfc} \left( \frac{t - \sum_{i=1}^k t_i}{2 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \sqrt{(k-i+1) \cdot \frac{l'_1}{V_{кр}} + (k-i) \cdot \frac{l'_2}{V_{кр}}}} \right) - \\ \left. - \sqrt{(k-i) \cdot \frac{(l'_1+l'_2)}{V_{кр}}} \cdot \operatorname{ierfc} \left( \frac{t - \sum_{i=1}^k t_i}{2 \cdot \sqrt{\alpha} \cdot \sqrt{(k-i) \cdot \frac{(l'_1+l'_2)}{V_{кр}}}} \right) \right] \quad (12)$$

где  $\psi$  – коэффициент, показывающий, какая часть работы переходит в тепло;

$k$  – число режущих выступов, принявших участие в перерезании адиабатического стержня, расположенного по нормали к обрабатываемой поверхности:

$$k = \frac{\sqrt{D_{кр} \cdot t}}{V_{дет}} \cdot \frac{V_{кр}}{(l'_1+l'_2)}; \quad (13)$$

$$q - \text{интенсивность теплового потока, Вт/м}^2, \quad q = \frac{P_z \cdot V_{кр}}{\sqrt{D_{кр} \cdot t} \cdot B}.$$

На рис. 3 зависимость  $T_k = f(N, n)$  выглядит в виде плоскости, наклоненной к плоскости координат  $(N, n)$  и изогнутой как по отношению к оси  $N$ , так и относительно координатной оси  $n$ . По характеру этих изгибов и по углам наклонов к плоскости координат  $(N, n)$  видно, что температура прерывистого шлифования уменьшается с увеличением параметров  $N$  и  $n$ .

Кривая АБВ является линией пересечения двух поверхностей: плоскости, параллельной координатной плоскости  $(N, n)$  и находящейся на уровне 400 °С, и наклоненной поверхности, изогнутой в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

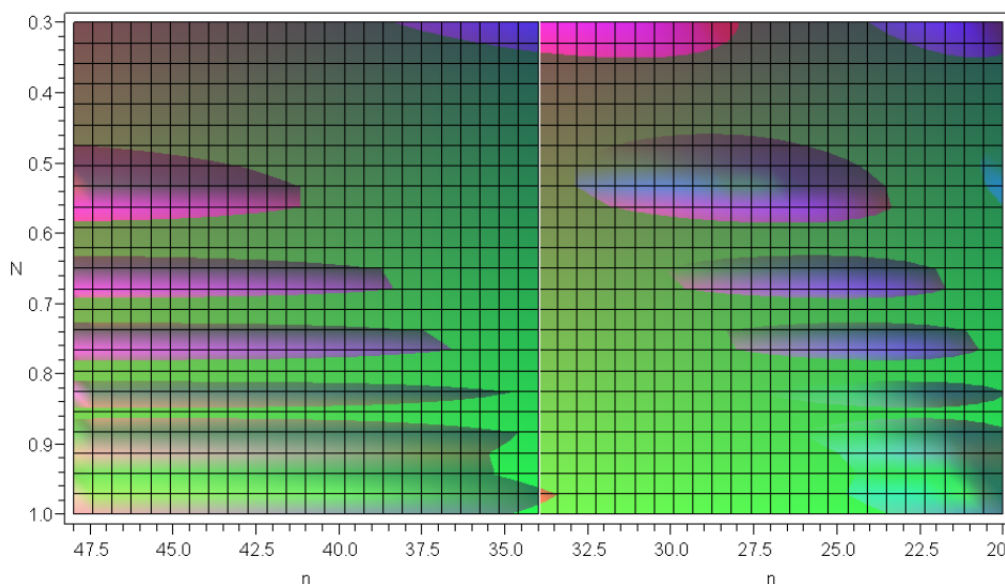
Кривая АБВ является геометрическим множеством точек, каждая из которых является такой совокупностью параметров  $N$  и  $n$ , при которой температура прерывистого шлифования не превышает 400 °С. Анализируя углы наклона кривой АБВ к координатным осям  $N$  и  $n$  и характер искривления этой линии можно заключить, что температуру прерывистого шлифования  $T_k$  можно поддерживать на одном и том же уровне, если при уменьшении величины отношения протяженности впадины  $l'_2$  к длине выступа  $l'_1$  увеличивать количество прорезей на рабочей поверхности абразивного инструмента.

Совокупность параметров  $N$  и  $n$  во многом определяет не только уровень температуры, формируемой при прерывистом шлифовании, но и параметрическую устойчивость упругой системы шлифовального станка.

На рис. 4 [13] показаны зоны параметрической неустойчивости упругой системы станка в виде пятен, изображенных в плоской системе координат, в которой по осям абсцисс отложены числа режущих выступов, а по осям ординат – величины отношений протяженностей впадин к длинам выступов.

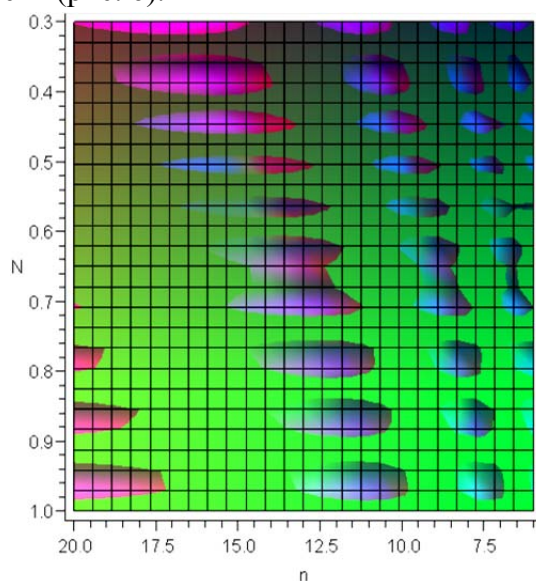
В расположении пятен на плоскости  $(N, n)$  прослеживается некоторая закономерность, а именно: пятна сгруппированы в колонны, наклоненные на некоторый угол по отношению к оси абсцисс. По направлению наклона этих колонн к оси абсцисс видно, что с возрастанием величин отношений протяженностей впадин к длинам выступов об-

ласти устойчивой работы упругой системы станка (области, заключенные между колоннами) смещаются в сторону уменьшения чисел режущих выступов на шлифовальном круге. Из анализа рис. 4 можно сделать и другой вывод: для обеспечения устойчивой работы упругой системы плоскошлифовального станка необходимо при уменьшении величины отношения размера впадины к размеру выступа увеличивать количество впадин на круге. Этот вывод полностью согласуется с изложенными выше рекомендациями по проектированию режущего макрорельефа рабочей поверхности прерывистого абразивного круга, обеспечивающего требуемую степень понижения температуры.



*Рис. 4. Зоны параметрической неустойчивости упругой системы плоскошлифовального станка, где  $N = l_2/l_1$ ,  $n$  – число прорезей на абразивном круге*

Установлено [13], что с возрастанием количества прорезей на рабочей поверхности абразивного круга наблюдается увеличение размеров областей устойчивой работы упругой системы плоскошлифовального станка (рис. 5) и снижение температуры на обрабатываемой поверхности (рис. 6).



*Рис. 5. Увеличение размеров зон устойчивой работы упругой системы станка по мере возрастания числа режущих выступов на круге*

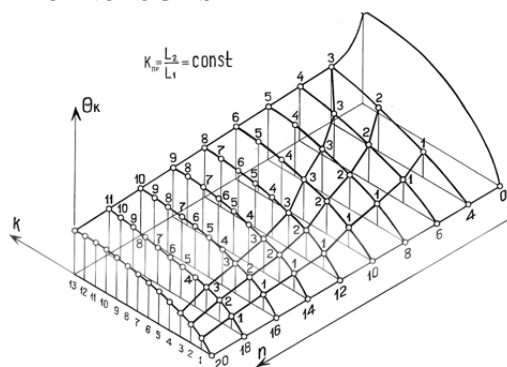


Рис. 6. Снижение температуры прерывистого шлифования по мере возрастания числа режущих выступов на круге

В работе [14] выдвинута и обоснована гипотеза, суть которой состоит в следующем: прерывистый абразивный круг с большим количеством прорезей на рабочей поверхности, протяженность которых соизмерима с расстоянием между двумя соседними режущими зернами, может быть заменен высокопористым кругом. Эта гипотеза хорошо согласуется с данными, представленными на рис. 3, 5 и 6 [13].

Высокопористые круги получили широкое применение при шлифовании труднообрабатываемых материалов: жаропрочных, титановых, нержавеющей сталей и сплавов. При шлифовании этих материалов абразивный круг быстро «засаливается», т.е. покрывается тонким слоем спрессованной металлической стружки [15].

Высокопористые круги часто применяют при обработке сложнелегированных сталей, при шлифовании которых, особенно при интенсивных режимах, появляются прижоги – структурные изменения металла, вызванные высоким тепловыделением при шлифовании [16].

Крупные поры выполняют следующие функции:

- создают перед абразивными зернами пространство для размещения снимаемой стружки, что уменьшает «засаливание» круга;
- улучшают подачу смазочноохлаждающих жидкостей непосредственно в зону контакта круга с деталью, предотвращая появление прижогов;
- за счет вентиляционного эффекта дополнительно охлаждают зону контакта воздушным потоком;
- уменьшают трение между поверхностями круга и детали [15, 16].

Все эти положительные эффекты, проявляемые при обработке высокопористыми кругами, присущи прерывистому шлифованию.

Кроме того, при прерывистом шлифовании возникают высокочастотные колебания с малой амплитудой, которые облегчают процесс удаления обрабатываемого материала режущими зернами круга и продлевают режущую способность абразивного инструмента во времени благодаря его самозаточке. При шлифовании высокопористыми кругами тоже происходит самооформление их режущего микрорельефа, но это происходит не из-за высокочастотных колебаний, а за счет применения принципиально новых абразивных материалов, способных саморазрушаться в процессе резания.

Замена прерывистых кругов на высокопористые снимает две проблемы:

- 1) проблему формирования впадин на круге (технология изготовления прерывистых кругов на керамической связке весьма несовершенна);
- 2) проблему ликвидации возможности возникновения в упругой системе станка параметрических колебаний.

**Выводы и предложения.** Разработаны рекомендации по проектированию режущего макрорельефа рабочей поверхности прерывистых абразивных кругов, а полученные данные подтверждают гипотезу о возможности замены кругов с прерывистой рабочей поверхностью на высокопористые (высокоструктурные) абразивные круги.

## Список использованных источников

1. Сипайлов В. А. Расчет размеров режущих перемычек круга при прерывистом шлифовании / В. А. Сипайлов, А. В. Якимов // Заводская лаб. – Пермь, 1966. – Т. 32, № 7. – С. 847–851.
2. Якимов А. В. Методика расчетов кругов с прерывистой рабочей поверхностью / А. В. Якимов, Н. А. Ярмонов, Ю. А. Напарин // Вестник машиностроения. – 1973. – № 12. – С. 38–41.
3. Расчет геометрических параметров прерывистых кругов / А. В. Якимов, Ю. А. Напарин, Н. А. Ярмонов, В. И. Свищёв, Е. В. Грисенко // Информационный листок Западно-Уральского МТЦНТИиП № 259-74. – Пермь, 1974. – 7 с.
4. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М. : Машиностроение, 1975. – 176 с.
5. Якимов А. В. Расчет, конструирование и эффективность применения прерывистых кругов-вентиляторов / А. В. Якимов, В. В. Якимов, В. Н. Кудашкин // Новые методы абразивной обработки. – К. : Вища школа, 1975. – С. 85–91.
6. Свищёв В. И. К вопросу расчета параметров регулярного макрорельефа на рабочей поверхности абразивного инструмента / В. И. Свищёв // Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении : межвузовский сбор. научн. трудов. – Пермь : ППИ, 1990. – С. 41–48.
7. Теоретические основы резания и шлифования материалов / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, Б. С. Серов, А. А. Якимов. – Одесса : ОГПУ, 1999. – 450 с.
8. Лукин Л. Л. Расчет прерывистых алмазных кругов при плоском периферийном шлифовании / Л. Л. Лукин, В. Д. Старшев // Вестник Иж.ГТУ. – 2007. – № 1. – С. 30–38.
9. Тепловые и механические процессы при резании металлов : учеб. пособие [для студ. выпш. учеб. завед.] / Ф. В. Новиков, А. А. Якимов, Г. В. Новиков, С. Г. Зимин, В. А. Вайсман. – Одесса : ОГПУ, 1997. – 179 с.
10. До питання про знос шліфувальних кругів з переривчастою робочою поверхнею / О. О. Якімов, Н. М. Клименко, Ю. В. Шіхірева, С. Ю. Дмитрієва, С. М. Уминський // Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки : зб. наук. праць. – Одеса : ОДАУ, 2016. – Вип. 80. – С. 13–23.
11. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов основы резания и шлифования материалов / Е. Н. Маслов – М. : Машиностроение, 1974. – 320 с.
12. Лебедев В. Г. Технологические основы управления качеством поверхностного слоя при шлифовании : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.02.08 / Лебедев Владимир Георгиевич ; Киевский политехнический институт. – Одесса, 1991. – 478 с.
13. Якімов О. О. Технологічне забезпечення якості поверхневого шару зубів високоточних зубчастих коліс при шліфуванні : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.02.08 / Якімов Олексій Олександрович. – Одеса, 2015. – 465 с.
14. Лищенко Н. В. Определение температуры при шлифовании прерывистыми и высокопористыми кругами / Н. В. Лищенко, В. П. Ларшин // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямком «Інженерна механіка»). – Луцьк : ЛДТУ, 2013. – Вип. 40. – С. 150–158.
15. Кремень З. И. Высокопористые круги – эффективное средство повышения производительности шлифования и качества деталей из различных материалов / З. И. Кремень // Инструмент и технологии. – 2001. – № 5-6. – С. 34–37.
16. Маринов Н. А. Применение высокопористых абразивных кругов в современном машиностроении / Н. А. Маринов // Вестник КемГСХИ. – 2009. – № 3. – С. 150–153.

## References

1. Sipailov, V.A., Yakimov, A.V. (1966). *Raschet razmerov rezhushchikh peremychek kruga pri preryvistom shlifovanii* [Calculation of the sizes of cutting lintels of a circle with intermittent grinding]. Perm: Zavodskaya lab, vol. 32, no. 7, pp. 847–851 (in Russian).
2. Yakimov, A.V., Iarmonov, N.A., Naparin, Iu.A. (1973). *Metodika raschetov krugov s preryvistoi rabochei poverkhnosti* [Method for calculating circles with a discontinuous working surface]. Moscow: Vestnik mashinostroeniia, no. 12, pp. 38–41 (in Russian).
3. Yakimov, A.V., Naparin, Iu.A., Iarmonov, N.A., Svirshchev, V.I., Grisenko, E.V. (1974). *Raschet geometricheskikh parametrov preryvistykh krugov* [Calculation of geometric parameters of discontinuous circles]. Perm: Informatcionnyi listok Zapadno-Uralskogo MTTcNTiP, no. 259–74 (in Russian).
4. Yakimov, A.V. (1975). *Optimizatsiia protcessa shlifovaniia* [Optimization of the grinding process] Moscow: Mashinostroenie (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Yakimov, A.V., Yakimov, V.V., Kudashkin, V.N. (1975). Raschet, konstruirovaniye i effektivnost primeneniya preryvistykh krugov – ventilatorov [Calculation, design and efficiency of the use of intermittent circles – fans]. *New methods of abrasive processing – Novye metody abrazivnoi obrabotki*. Kyiv: Vyshcha shkola, pp. 85–91 (in Russian).
6. Svirshchev, V.I. (1990). K voprosu rascheta parametrov reguliarnogo makroreliefa na rabochei poverkhnosti abrazivnogo instrumenta [To the question of calculating the parameters of a regular microrelief on the working surface of an abrasive tool]. *Sovershenstvovanie protsessov abrazivno-almaznoi i uprochniaiushchei obrabotki v mashinostroeni – Perfection of processes of abrasive-diamond and strengthening processing in mechanical engineering*. Perm: PPI, pp. 41–48 (in Russian).
7. Yakimov, A.V., Novikov, F.V., Novikov, G.V., Serov, B.S., Yakimov, A.A. (1999). *Teoreticheskie osnovy rezaniia i shlifovaniia materialov [Theoretical bases of cutting and grinding materials]*. Odessa: OGPU (in Russian).
8. Lukin, L.L., Starshev, V.D. (2007). Raschet preryvistykh almaznykh krugov pri ploskom periferiinom shlifovanii [Calculation of discontinuous diamond wheels with flat peripheral grinding]. *Vestnik Izh.GTU – Bulletin Izh.GTU*, no. 1, pp. 30–38 (in Russian).
9. Novikov, F.V., Yakimov, A.A., Novikov, G.V., Zimin, S.G., Vaisman, V.A. (1997). *Teplovyie i mekhanicheskie protsessy pri rezanii metallov [Thermal and mechanical processes in cutting metals]*. Odessa: OGPU (in Russian).
10. Yakimov, O.O., Klymenko, N.M., Shikhireva, Yu.V., Dmytriieva, S.Yu., Umysnyi, S.M. (2016). *Do pytannia pro znos shlifivalnykh kruhiv [On the question of wear of grinding wheels]*. *Ahrarnyi visnyk Prychornomoria. Tekhnichni nauky – Agrarian Bulletin of the Black Sea Region. Technical sciences*, issue 80, pp. 13–23 (in Ukraine).
11. Maslov, E.N. (1974). *Teoriia shlifovaniia materialov osnovy rezaniia i shlifovaniia materialov [Theory of grinding materials of the basis of cutting and grinding materials]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
12. Lebedev, V.G. (1991). Tekhnologicheskie osnovy upravleniia kachestvom poverkhnostnogo sloia pri shlifovanii [Technological fundamentals of surface quality control during grinding]. *Doctors thesis*. Odessa: Kievskii politekhnicheskii institute (in Russian).
13. Yakimov, O.O. (2015) Tekhnologichne zabezpechennia yakosti poverkhnevoho sharu zubiv vysokotochnykh zubchastykh kolis pry shlifuvanni [Technological maintenance of the quality of the surface of the teeth layer of high-precision gears when grinding]. *Doctor's thesis*. Odesa (in Ukraine).
14. Lishchenko, N.V., Larshin, V.P. (2013). *Opredelenie temperatury pri shlifovanii preryvistymi i vysokoporistymi krugami [Determination of the temperature during grinding by intermittent and highly porous circles]* Naukovi notatky: Mizhvuzivskyi zbirnyk (za napriamkom “Inzhenerna mekhanika”) – Scientific notes: Interuniversity Collection (in the direction of “Engineering Mechanics”). Lutsk: LDTU, issue 40, pp. 150–158 (in Russian).
15. Kremen, Z.I. (2001). Vysokoporistye krugi – effektivnoe sredstvo povysheniia proizvoditelnosti shlifovaniia i kachestva detalei iz razlichnykh materialov [High-porosity wheels are an effective tool for improving grinding performance and quality of parts from various materials]. *Instrument i tekhnologii – Tools and technologies*, no. 5-6, pp. 34–37 (in Russian).
16. Marinov, N.A. (2009). Primenenie vysokoporistykh abrazivnykh krugov v sovremennom mashinostroenii [Application of highly porous abrasive wheels in modern engineering]. *Vestnik KemGSKhI – Bulletin of KemSGI*, no. 3, pp. 150–153 (in Russian).

UDC 621.9.06.-229.331

*Volodymyr Tonkonogyi, Oleksii Yakimov, Liubov Bovnegra,  
Svitlana Beznos, Vitalii Dobrovolskyi*

## REDUCING THE THERMAL FACTOR IN FLAT ABRASIVE GRINDING

**Urgency of the research.** Grinding is accompanied by the release of heat, under the influence of which, burns and residual tensile stresses form in the surface layer of the workpiece. Grinding defects are sources of destruction of the part.

**Target setting.** The use of circles with a discontinuous working surface makes it possible to lower the temperature in the cutting zone. The abrasive industry does not produce intermittent circles on the ceramic binder due to imperfect manufacturing technology.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The wide application of intermittent circles in machine-building enterprises is hampered by the inconsistency of the methods for calculating the lengths of the depressions and cutting protrusions.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The problem of reducing the heat stress of the grinding process can be solved on the basis of further study of the thermophysical and dynamic components of the machining process by discontinuous circles.

**The research objective.** The purpose of scientific research is to identify ways to reduce the heat stress of the grinding process.

**The statement of basic materials.** The process of heat increase at a fixed point of the treated surface is simulated as it is repeatedly influenced by thermal energy, which is released during metal cuts by individual projections of a discontinuous circle. Investigations have been carried out to reveal the influence of the dimensions and number of geometric elements of the working surface of a discontinuous circle on the parametric stability of the elastic system of the machine tool.

**Conclusions.** Recommendations are developed for calculating the lengths of protrusions and troughs of a discontinuous circle, taking into account thermal and dynamic factors. Data have been obtained that confirmed the hypothesis that intermittent circles with a large number of slits on the working surface and highly porous circles can reduce the temperature in the cutting zone with the same effect.

**Key words:** interrupted circles; highly porous circles; burns; abrasive tools.

Fig.: 6. Bibl.: 16.

УДК 621.9.06.-229.331

Володимир Тонконогий, Олексій Якимов, Любов Бовнегра,  
Світлана Безнос, Віталій Добровольський

### ЗНИЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО ФАКТОРУ ПРИ ПЛОСКОМУ АБРАЗИВНОМУ ШЛІФУВАННІ

Розроблено рекомендації щодо розрахунку протяженностей виступів і западин переривчастого кола з урахуванням теплового і динамічного факторів. Розрахунковим шляхом отримані дані, що дозволили підтвердити гіпотезу, згідно з якою переривчасті кола з великим числом прорізів на робочій поверхні і високопористі кола можуть знижувати температуру в зоні різання з однаковим ефектом.

**Ключові слова:** переривчасті кола; високопористі кола; прижоги; абразивний інструмент.

Рис.: 6. Бібл.: 16.

**Тонконогий Владимир Михайлович** – доктор технических наук, профессор, директор института промышленных технологий, дизайна и менеджмента, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Тонконогий Володимир Михайлович** – доктор технічних наук, професор, директор інституту промислових технологій, дизайну та менеджменту, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Tonkonogiy Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Institute of Industrial Technologies, Design and Management, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044, Odessa, Ukraine).

**E-mail:** vmt47@ukr.net

**Якимов Алексей Александрович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий проектирования в машиностроении, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Якимов Олексій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Yakimov Olekcii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer-aided Design Technologies, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044, Odessa, Ukraine).

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

**Бовнегра Любовь Витальевна** – кандидат технических наук, профессор кафедры информационных технологий проектирования в машиностроении, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Бовнегра Любов Віталіївна** – кандидат технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій проектування в машинобудуванні, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Bovnegra Liubov** – PhD in Technical Sciences, Professor of the Department of Computer-aided Design Technologies, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044, Odessa, Ukraine).

**E-mail:** dlv5@ukr.net

**Безнос Светлана Владимировна** – старший преподаватель кафедры экономика предприятий, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Безнос Світлана Володимирівна** – старший викладач кафедри економіка підприємств, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Beznos Svitlana** – lecturer of the Department of Economy Enterprises, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044, Odessa, Ukraine).

**E-mail:** s.v.beznos@opu.ua

**Добровольский Виталий Владимирович** – студент, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Добровольський Віталій Володимирович** – студент, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Dobrovolskyi Vitalii** – student, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044, Odessa, Ukraine).

**E-mail:** dlv5@ukr.net

Геннадій Пасов, Олена Следнікова, Антоніна Кологойда

## АНІМАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РЕЙКОВИХ ТА ЧЕРВ'ЯЧНО-РЕЙКОВИХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ПРЯМОЛІНІЙНОГО ПОСТУПАЛЬНОГО РУХУ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасна освіта має бути яскравою, чіткою, швидкою і дешевою. Використання анімаційного моделювання і дозволяє досягти цього.

**Постановка проблеми.** Освіта є основою будь-якого суспільства. В наш час у процесі вивчення різноманітних дисциплін використовується багато джерел різноманітної інформації: підручники, посібники, журнали, збірники, Інтернет. У сучасних умовах широкі можливості відкриває використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) в навчальному процесі, особливо персональних комп'ютерів (ПК) і високоінтелектуальних програмних продуктів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційно при засвоєнні будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому як методичний наочний матеріал використовуються, здебільшого, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє вдосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності та інтерактивного змісту.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Необхідно для вдосконалення навчання студентів запропонувати анімаційну модель для створення прямолінійного поступального руху за допомогою рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є пропозиція анімаційного моделювання прямолінійного поступального руху за допомогою рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів.

**Виклад основного матеріалу.** В Чернігівському національному технологічному університеті (ЧНТУ) на кафедрі «Автомобільний транспорт та галузеве машинобудування» для вивчення навчальних дисциплін «Підйомно-транспортне обладнання і роботи», «Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і вантажно-розвантажувальних машин», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів», «Промислові роботи», «Металообробне обладнання», розроблено навчальний продукт: «Анімація роботи рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів для створення прямолінійного поступального руху». Анімація розроблена для лабораторій «Промислові роботи» з реальними роботами: МП-11, М10П, М20П, РМ-01 та «Металообробне обладнання».

**Висновки.** Запропонований програмний продукт дозволяє зробити процес навчання більш яскравим, наочним та дешевим. Запропонований програмний продукт має деяке обмеження, зокрема відсутність можливості інтерактивного керування цими механізмами. Бажано в наступних версіях цю проблему усунути.

**Ключові слова:** анімація; моделювання; рейковий механізм; черв'ячно-рейковий механізм; прямолінійний; поступальний рух.

Рис.: 4. Бібл.: 11.

**Постановка проблеми.** Освіта є основою будь-якого суспільства. У наш час у процесі вивчення різноманітних дисциплін використовується багато джерел різноманітної інформації: підручники, посібники, журнали, збірники, Інтернет. У сучасних умовах широкі можливості відкриває використання електронно-обчислювальних машин (ЕОМ) у навчальному процесі, особливо персональних комп'ютерів (ПК) і високоінтелектуальних програмних продуктів [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Традиційно при засвоєнні будь-якої навчальної дисципліни студент повинен вивчати її на лекціях, лабораторних та практичних заняттях. Але при цьому як методичний наочний матеріал використовуються здебільшого, ілюстрації зовнішнього вигляду, будови та конструкції різноманітних механізмів у вигляді двовимірних статичних схем елементів [2–4]. Саме використання ЕОМ та відповідних програмних продуктів і дозволяє вдосконалити навчальний процес (та освіту загалом), надаючи йому інтенсивності та інтерактивного змісту [5–11].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Необхідно для вдосконалення навчання студентів запропонувати анімаційну модель для створення прямолінійного поступального руху за допомогою рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є пропозиція анімаційного моделювання прямолінійного поступального руху за допомогою рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів.

**Виклад основного матеріалу.** У Чернігівському національному технологічному університеті (ЧНТУ) на кафедрі «Автомобільний транспорт та галузеве машинобудування» для вивчення навчальних дисциплін «Підйомно-транспортне обладнання і робо-

© Пасов Г. В., Следнікова О. С., Кологойда А. В., 2017



ти», «Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і вантажно-розвантажувальних машин», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів», «Промислові роботи», «Металообробне обладнання», розроблено навчальний продукт: «Анімація роботи рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів для створення прямолінійного поступального руху». Анімація розроблена для лабораторій «Промислові роботи» з реальними роботами: МП-11, М10П, М20П, РМ-01 та «Металообробне обладнання».

Під час розроблення анімаційного моделювання рейкових та черв'ячно-рейкових механізмів для створення прямолінійного поступального руху були використані сучасні програмні продукти: «3Ds Max» та «КОМПАС-3D».

**Рейкова передача.** Тут можливі два варіанти. За першим варіантом (рис. 1) рейкова шестірня тільки обертається, а поступальний рух одержує рейка разом з робочим органом (подача шпинделя свердлильних верстатів). За другим варіантом (рис. 2) рейка нерухома, а рейкова шестірня обертається і рухається поступально разом з робочим органом (поздовжня подача супорта токарного верстата при обточуванні).

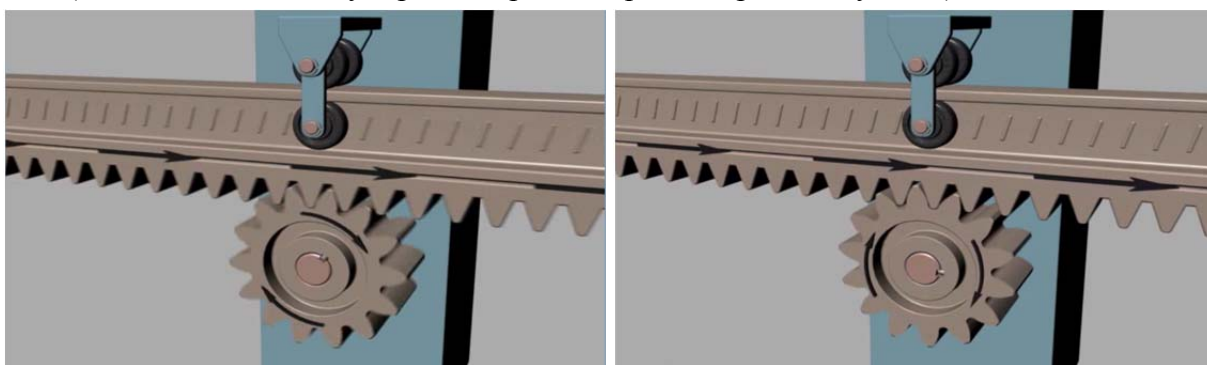


Рис. 1. 3D-модель рейкової передачі (рейка рухома)

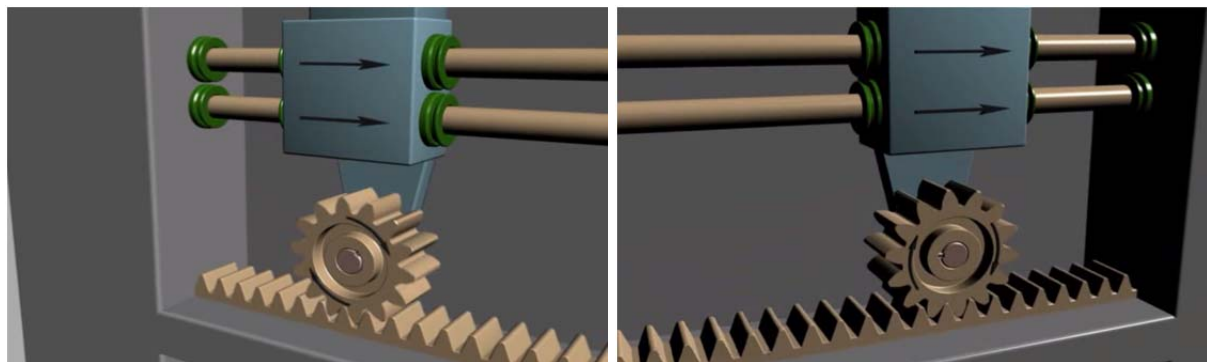
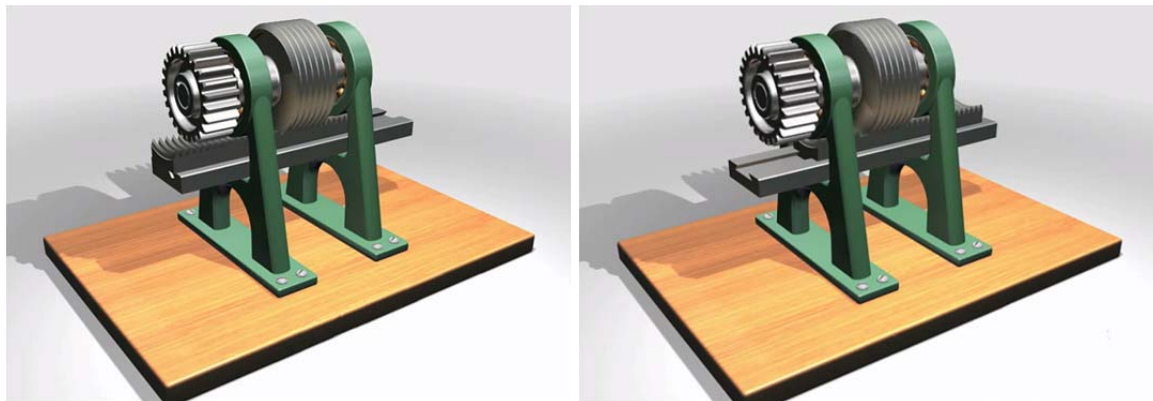


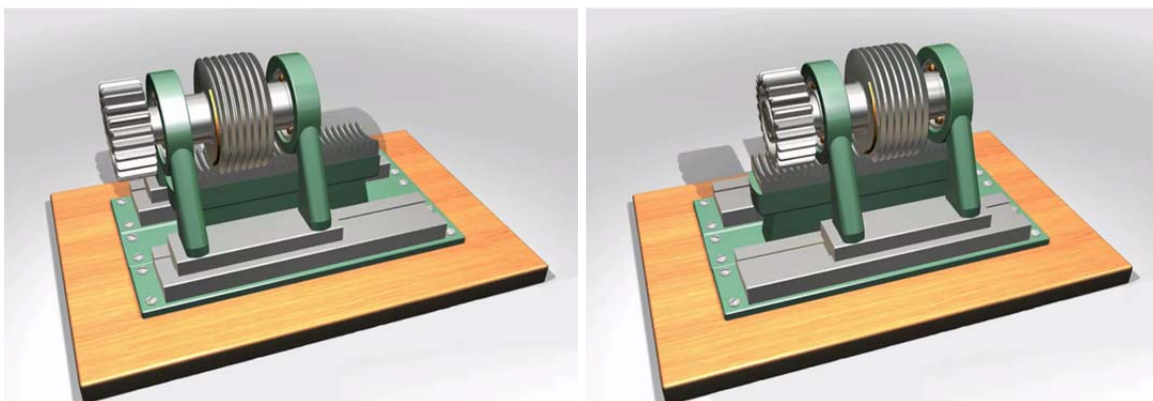
Рис. 2. 3D-модель рейкової передачі (рейка не рухома)

**Черв'ячно-рейкова передача.** Середнє положення між гвинтовою і рейковою передачею займає черв'ячно-рейкова передача (рис. 3, 4). Вона має більшу жорсткість з досить високим коефіцієнтом корисної дії, що забезпечує їй широке застосування у приводах руху різання сучасних поздовжньо-стругальних верстатів (рис. 3) (рейка рухома) та у приводі подачі важких фрезерних і горизонтально-розточувальних верстатів (рис. 4) (рейка не рухома).





*Рис. 3. 3D-модель черв'ячно-рейкової передачі (рейка рухома)*



*Рис. 4. 3D-модель черв'ячно-рейкової передачі (рейка не рухома)*

**Висновки і пропозиції.** Розроблений програмний продукт може ефективно використовуватись у процесі вивчення наступних дисциплін: «Промислові роботи», «Металобробне обладнання», «Спеціалізований рухомий склад автотранспортних і вантажно-розвантажувальних машин», «Проектування механічних цехів», «Обладнання та транспорт механоскладальних цехів», «Підйомно-транспортне обладнання і роботи», «Проектування та оснащення гаражного господарства». На основі цих розробок можливо створювати аналогічні програмні анімаційні продукти й для інших дисциплін: «Теорія різання» – рух інструменту й утворювання стружки, «Гідравліка» – робота гідравлічних систем верстатів та багато інших дисциплін.

#### **Список використаних джерел**

1. Використання ЄОМ в навчальному процесі / Г. В. Пасов, К. В. Дьяконов, Р. С. Кит, О. В. Хажанець, С. А. Шурубенко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2007. – № 30. – С. 45–54.
2. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання роботи окремих вузлів промислового робота / Г. В. Пасов, О. В. Ратозей, С. В. Лоскутов // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2008. – № 36. – С. 82–87.
3. Пасов Г. В. Керування анімаційною 3D-моделлю промислового робота М10П / Г. В. Пасов, В. М. Чуприна, С. Ю. Кирієнко // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2009. – № 40. – С. 156–164.
4. Анімаційне моделювання гнучкої виробничої системи / С. Ю. Кирієнко, А. В. Полуян, Г. В. Пасов, В. М. Чуприна // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2010. – № 45. – С. 78–86.
5. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання лабораторії промислових роботів / Г. В. Пасов, Є. В. Загуменник // Вісн. Черніг. держ. технол. ун-ту. – 2012. – № 2 (57). – С. 148–154.
6. Пасов Г. В. Використання анімаційного моделювання лабораторії промислових роботів в учбовому процесі / Г. В. Пасов // Матеріали II Міжнародної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2012. – С. 31–32.

7. Пасов Г. В. Використання анімаційного моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху / Г. В. Пасов // Матеріали третьої Міжнародної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧДТУ, 2013. – С. 60–61.

8. Пасов Г. В. Використання анімаційного моделювання механізмів для створення прямолінійного поступального руху за допомогою кулачкових механізмів / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем». – Чернігів : ЧНТУ, 2014. – С. 81–84.

9. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання кульково-гвинтових передач, які використовуються для створення прямолінійного поступального руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега // Вісн. Черніг. нац. технол. ун-ту. – 2015. – № 1 (77). – С. 19–25.

10. Пасов Г. В. Анімаційне моделювання механізмів для створення реверсивного, обертального руху / Г. В. Пасов, В. І. Венжега, А. В. Рудик // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 1 (3). – С. 60–65.

11. Пасов Г. В. Навчальний симулятор роботизованого технологічного комплексу на базі токарного верстата з ЧПК / Г. В. Пасов, В. І. Венжега, А. В. Рудик // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2017. – № 1 (7). – С. 42–50.

### References

1. Pasov, H.V., Diakonov, K.V., Kyt, R.S., Khazhanets, O.V. & Shurubenko, S.A. (2007). Vykorystannia YeOM v navchalnomu protsesi [The use of IBM in educational process]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 30, pp. 45–54 (in Ukrainian).

2. Pasov, H.V., Ratozei, O.V. & Loskutov, S.V. (2008). Animatsiine modeliuвання roboty okremykh vuzliv promyslovoho robota [Animation design work of separate knots of industrial robot]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 36, pp. 82–87 (in Ukrainian).

3. Pasov, H.V., Chupryna, V.M. & Kyriienko, S.Iu. (2009). Keruvannia animatsiinoiu 3D-modelliu promyslovoho robota M10P [Management of industrial robot M10P an animation 3D-model]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 40, pp. 156–164 (in Ukrainian).

4. Kyriienko, S.Iu., Poluiian, A.V., Pasov, H.V. & Chupryna, V.M. (2010). Animatsiine modeliuвання hnuchkoi vyrobnychoi systemy [Animated simulations of a flexible manufacturing system]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 45, pp. 78–86 (in Ukrainian).

5. Pasov, H.V. & Zahumennyk, Ye.V. (2012). Animatsiine modeliuвання laboratorii promyslovykh robotiv [The animated laboratory design of industrial robots]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 2 (57), pp. 148–154 (in Ukrainian).

6. Pasov, H.V. (2012). Vykorystannia animatsiinoho modeliuвання laboratorii promyslovykh robotiv v uchbovomu protsesi [Using animated simulation of industrial robots in the lab learning process]. Proceeding from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnykh protsesiv ta system: zb. nauk. prats II Mizhnarodnoi konferentsii – Comprehensive quality assurance processes and systems: Materials of 2 International Conference* (Chernihiv, May 23-25, 2012). Chernihiv: CnSTU, pp. 31–32 (in Ukrainian).

7. Pasov, H.V. (2013). Vykorystannia animatsiinoho modeliuвання mekhanizmiv dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu [Using animated simulation of mechanisms to create a straight forward motion]. Proceeding from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnykh protsesiv ta system: zb. nauk. prats III Mizhnarodnoi konferentsii – Comprehensive quality assurance processes and systems: Materials of 3 International Conference* (Chernihiv, May 14-16, 2013). Chernihiv: CnSTU, pp. 60–61 (in Ukrainian).

8. Pasov, H.V. & Venzheha, V.I. (2014). Vykorystannia animatsiinoho modeliuвання mekhanizmiv dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu za dopomohoiu kulachkovykh mekhanizmiv [Using animated simulation of mechanisms to create a rectilinear translational motion via cam]. Proceeding from *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnykh protsesiv ta system: zb. nauk. prats IV Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii – Comprehensive quality assurance processes and sys-*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*tems: Materials of 4 th International Scientific Conference* (Chernihiv, May 19-21, 2014). Chernihiv: CnNTU, pp. 81–84 (in Ukrainian).

9. Pasov, H.V. & Venzheha, V.I. (2015). Animatsiine modeliuвання kulkovo-hvyntovykh peredach, yaki vykorystovuiutsia dlia stvorennia priamoliniinoho postupalnoho rukhu [Animation simulation ball screw is used to create rectilinear translational motion]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University*, no. 1 (77), pp. 19–25 (in Ukrainian).

10. Pasov, H. V., Venzheha, V. I. & Rudyk, A. V. (2016). Animatsiine modeliuвання mekhanizmiv dlia stvorennia reversyvnoho, obertalnoho rukhu [Animation simulation of reverse mechanism for creating rotary motion]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 1 (3), pp. 60–65 (in Ukrainian).

11. Pasov, H. V., Venzheha, V. I. & Rudyk, A. V. (2017) Navchalnyi symulator robotyzovanoho tekhnolohichnoho kompleksu na bazi tokarnoho verstata z ChPK [Training simulator of robotic technology complex on the basis of CNC turning machine]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii:– Technical sciences and technologies*, no. 1 (7). pp. 42–50 (in Ukrainian).

UDC 621.9.06

*Hennadii Pasov, Olena Sliednikova, Antonina Kolohoida*

### ANIMATION MODELING OF RIVER AND WRENCH-RECHARGE TRANSMISSIONS FOR ESTABLISHING A PRIMARY LINEAR MOTION

**Urgency of the research.** Modern education should be bright, clear, fast and cheap. Using animation modeling allows you to achieve this.

**Target setting.** Education is the foundation of any society. In our time in the process of studying various disciplines, many sources of various information use: textbooks, manuals, journals, collections, the Internet. In modern conditions, the broad opportunities open the use of computers (computers) in the learning process, especially personal computers (PCs) and high-tech software products.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Traditionally, when mastering any discipline, a student must study it at lectures, laboratory and practical classes. But at the same time, as a methodological visual material, for the most part, illustrations of the appearance, structure and design of various mechanisms are used in the form of two-dimensional static scheme of elements. It is the use of computers and related software and allows you to improve the learning process (and education in general), giving it an intensity and interactive content.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** It is necessary to offer an animation model to create straightforward translational movement with the help of rail and worm-rail mechanisms to improve students' learning.

**The research objective.** The purpose of this work is to offer an animation modeling of straight-line translational motion with the help of rail and worm-rail mechanisms.

**The statement of basic materials.** In the Chernihiv National University of Technology (CHNUT) at the Department of Motor transport and branch engineering for the study of educational disciplines “Lifting and transport equipment and works”, “Specialized rolling stock of vehicles and loading and unloading machines”, “Equipment and transport of machine-building workshops”, “Industrial works”, “Metalworking equipment”, the educational product was developed: “Animation of work of rail and worm-rail mechanisms for creating straight-line forward movement”. The animation was developed for laboratories “Industrial works” with real works: MP-11, M10P, M20P, RM-01 and “Metalworking equipment”.

**Conclusions.** The proposed software allows you to make the learning process more vivid, more visible and cheaper. The proposed software product has some limitations, including the lack of the ability to interact with these mechanisms. It is desirable to remove this issue in future versions.

**Key words:** animation; modeling; rack mechanism; worm-rack mechanism; rectilinear; translational motion.

Fig.: 4. Bibl.: 11.

УДК 621.9.06

*Геннадий Пасов, Елена Следникова, Антонина Кологойда*

### АНИМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЕЧНЫХ И ЧЕРВЯЧНО-РЕЕЧНЫХ ПЕРЕДАЧ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

В статье рассмотрено анимационное моделирование механизмов для создания прямолинейного поступательного движения с помощью реечных и червячно-реечных механизмов при изучении таких дисциплин, как «Подъемно-транспортное оборудование и роботы», «Специализированный подвижной состав автотранспортных и погрузочно-разгрузочных машин», «Оборудование и транспорт механо-сборочных цехов», «Промышленные роботы», «Металлообрабатывающее оборудование». Описаны составляющие этих механизмов и перспективы интерактивного управления ими в дальнейшем.

**Ключевые слова:** анимация; моделирование; реечный механизм; червячно-реечный механизм; прямолинейное; поступательное движение.

*Рис.: 4. Библ.: 11.*

**Пасов Геннадій Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Пасов Геннадий Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Pasov Hennadii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National Technological University (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** H-4455-2014

**Следнікова Олена Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Следникова Елена Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Sliednikova Olena** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National Technological University (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

**Кологойда Антоніна Вікторівна** – старший викладач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Кологойда Антонина Викторовна** – старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kolohoida Antonina** – senior teacher of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National Technological University (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1742-2686>

**ResearcherID:** I-1118-2014

Андрій Рудик, Владислав Рудик

## ЕФЕКТИВНЕ ФОРМОУТВОРЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ОБЕРТАННЯ ТОРЦЕМ КРУГА

**Актуальність теми дослідження.** Ефективність процесу шліфування поверхонь обертання при підвищенні продуктивності, покращенні якості та енергозбереженні є проблемою, актуальною для сучасного машинобудування, яка може бути вирішеною на верстатах з ЧПК при використанні торцевого шліфування заправленим чашковим кругом.

Нові перспективні способи дають можливість керувати геометрією контакту та навантаженням локальних ділянок у межах контакту за рахунок зміни відстані між осями обертання деталі та інструмента.

**Постановка проблеми.** У наукових роботах, присвячених подібній тематиці, вказувалося, що кутове керування орієнтацією інструмента здатне значно підвищити продуктивність та якість обробки. Інструментом простої геометричної форми можна обробляти різноманітні форми поверхні при простих відносних рухах.

Актуальним є вибір параметрів наладки та програмного забезпечення заточувального верстата з метою ефективного впровадження нових способів шліфування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема ефективного формоутворення поверхонь, у тому числі обертання, при керуванні взаємною орієнтацією, зазвичай кутовою, досліджували багато вітчизняних учених, серед яких П. Р. Родин, Н. С. Равська, В. І. Кальченко та інші. Крім того, спеціалістами фірми ЮНКЕР (Німеччина) було створено спосіб та ефективне обладнання для обробки ступінчастих валів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Однак на ефективність значною мірою впливають його форма круга та кінематика формоутворення. Ці питання у сучасній літературі мають лише часткове обґрунтування та потребують створення нового обладнання.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є визначення параметрів обробки при керуванні контактом за рахунок зміни міжосової відстані. На цій базі теоретично дослідити створені нові високоефективні способи шліфування поверхонь обертання торцем абразивного інструмента чашкової форми.

**Виклад основного матеріалу.** Для точного формоутворення ділянки поверхні деталі необхідно у точці контакту втримати рівність нахилу дотичних, відповідність діаметральних розмірів та накласти умови на радіуси кривизни деталі в осевій площині та інструмента. Для обробки впадої ділянки профілю деталі у напрямку осової подачі такими умовами є менші значення радіуса кривизни інструмента, що наближається до необхідного значення відповідної ділянки заготовки.

Ці вимоги можна забезпечити раціональним вибором діаметральних розмірів, зміною значень кута, що характеризує конус заправленого торця, відносних поздовжньої та поперечної подач. З використанням матриць перетворення координат побудовані математичні моделі поверхні круга, обробки та формоутворення на верстаті деталі з урахуванням значень поздовжньої та поперечної подач.

**Висновки.** Отримана система рівнянь та робочих програм, складених у пакеті програм MathCAD, дозволяють у зручному для практичного використання вигляді з урахуванням усіх кінематичних складових визначати режимні параметри та товщину зрізів з метою навантаження інструмента до граничного рівня, який визначається різальною здатністю.

Матеріали теоретичних досліджень, розрахунків та їх порівняння доводять можливість значного збільшення ефективності обробки шліфуванням поверхонь обертання заправленим на конус торцем круга.

Результати роботи можуть бути впровадженими на існуючому обладнанні після незначної модернізації, а моделювання – для оцінки теплової напруженості даних способів.

**Ключові слова:** формоутворення; лінія контакту; кривизна поверхні; моделювання обробки; точність; продуктивність; якість; ефективність; профіль деталі.

Рис.: 8. Бібл.: 11.

**Постановка проблеми.** Ефективність процесу шліфування поверхонь обертання при підвищенні продуктивності, поліпшенні якості та енергозбереженні є проблемою, актуальною для сучасного машинобудування, яка може бути вирішеною на верстатах з ЧПК при використанні торцевого шліфування заправленим чашковим кругом. Це дає можливість керувати геометрією контакту за рахунок зміни відстані  $H$  між осями обертання деталі та інструмента.

Як відомо [1], підвищення продуктивності шліфування  $Q = \iint_S V_n \cdot dS$  визначається

збільшенням розмірів контакту  $S$  між інструментом та деталлю та швидкістю  $V_n$  відносного руху у напрямку нормалі (у подальшому нормальною швидкістю) на кожній елементарній ділянці у його межах.

Рівняння для нормальної відносної швидкості було отримано авторами та наведено у роботі [8].

Для нових способів доведено [4; 5], що розміри контакту в Ейлєревих перетинах, тобто напрямках площин як обертання деталі, так і осової подачі, при наближенні відповідних радіусів кривизни, є значно більшими, а підведення припуску є більш раціональним [9].

Крім того, поліпшення якості забезпечується розподіленням функцій вздовж профілю інструменту з виділенням чорнової та захищених чистової та фінішної ділянок в околі базової точки. За рахунок наближення радіусів кривизни у напрямку осьової подачі можливо збільшити кількість проходів. Напрямок швидкості різання вздовж контакту спрямований під різними кутами до осі виробу, що дозволяє отримати шорсткість обробленої поверхні у вигляді сітки.

Динаміка процесу покращується за рахунок зменшення маси інструмента, таким чином збільшуються частота власних коливань та демпфування через зростання розмірів контакту, а самі коливання спрямовані під кутом до поверхні, яку оброблюють. Енергозбереження може бути поясненим зменшенням витрат машинного часу, що викликане збільшенням осьової подачі, кількості проходів при скороченні холостого ходу, та можливим спрощенням приводу верстата для меншого за розмірами інструмента. Крім того, вплив здійснює раціональне завантаження робочої поверхні інструмента до рівня його різальної здатності, що викликане зміною характеру залежності  $V_n$ .

Основні переваги нових способів обробки порівняно до традиційних наведені на рис. 1.



Рис. 1. Переваги нових способів обробки порівняно до традиційних

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблему ефективного формоутворення поверхонь, у тому числі обертання, при керуванні взаємною орієнтацією, зазвичай кутковою, досліджували багато вітчизняних учених, серед яких П. Р. Родин, Н. С. Равська, В. І. Кальченко [2; 3] та інші. Крім того, спеціалістами фірми ЮНКЕР (Німеччина) було створено спосіб та ефективне обладнання для обробки ступінчастих валів [1].

У наукових роботах, присвячених подібній тематиці, вказувалося, що кутове керування орієнтацією інструмента здатне значно підвищити продуктивність та якість обробки, а також дозволяє інструментом простої геометричної форми обробляти різноманітні поверхні. Однак на ефективність обробки значною мірою впливають форма кола та кінематика формоутворення. Ці питання у сучасній науковій літературі мають лише часткове обґрунтування та потребують створення нового (або значного удосконалення існуючого) обладнання.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У цій статті обґрунтовано новий науковий принцип підвищення ефективності процесу шліфування за рахунок керування міжосьовою відстанню [2; 3], що може бути використаний для обробки поверхонь обертання як із фасонною твірною, так і ступінчастих та запропоновано нові способи, захищені патентами України [6; 7]. Цей принцип є конкурентоспроможний порівняно з існуючими та може бути реалізований на вітчизняному обладнанні при проведенні незначної модернізації.

**Мета дослідження.** Метою цієї роботи є визначення параметрів обробки при керуванні контактом за рахунок зміни міжосьової відстані. На цій базі теоретично дослідити створені нові високоефективні способи шліфування поверхонь обертання торцем абразивного інструмента чашкової форми.



**Виклад основного матеріалу.** Складена [4; 5] модель обробки заправленим конічним торцем на заточувальному верстаті з ЧПК мод. ВЗ 208Ф3 (рис. 2), де забезпечуються обертання деталі та інструмента при відносних поздовжній та поперечній подачах.

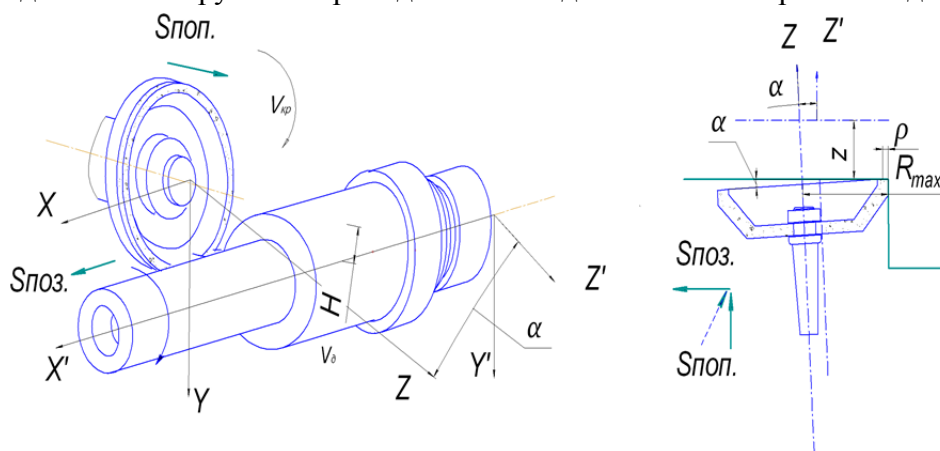


Рис. 2. Схема ефективної обробки ступінчастих валів торцем чашкового круга при керуванні геометрією контакту за рахунок зміни відстані  $H$  між осями

Для точного формоутворення ділянки поверхні деталі необхідно у точці контакту витримати рівність нахилу дотичних, відповідність діаметральних розмірів та накласти умови на радіуси кривизни деталі в осьовій площині та інструмента. Для обробки впапої ділянки профілю деталі у напрямку осьової подачі такими умовами є менші значення радіуса кривизни інструмента, що наближається до необхідного значення відповідної ділянки заготовки.

Ці вимоги можна забезпечити раціональним вибором його діаметральних розмірів, зміною значень кута  $\alpha$ , що характеризує конус заправленого торця, відносних поздовжньої та поперечної подач. За допомогою матриць перетворення систем координат [1] побудовані [4; 5; 6; 8] математичні тривимірні моделі поверхні круга, обробки та формоутворення на верстаті деталі з урахуванням значень поздовжньої та поперечної подач.

Формоутворення фрагмента поверхні на верстаті [1] можна записати матричним рівнянням, враховуючи послідовні переходи між його ланками до СК деталі. Отримане рівняння має вигляд:

$$\vec{r}_{oi}(\phi, z, x, \theta, \rho) = A^4(\phi) \cdot A^3(z) \cdot A^1(x) \cdot A^5(-\alpha) \cdot A^2(H) \cdot \vec{r}(\theta, \rho), \quad (1)$$

де  $\vec{r}(\theta, \rho) = A^6(\theta) \cdot A^1(R_{\max}) \cdot A^5(\alpha) \cdot A^1(-\rho) \cdot \vec{e}^4$  – радіус-вектор торцевої конічної поверхні круга.

Знайти вектор відносної швидкості, перенесений до СК деталі, можна диференціюванням рівняння (1) за часом або параметром  $\phi$ :

$$\vec{V}_{oi}(\phi, \theta, \rho) = DA^4(\phi) \cdot A^3(z) \cdot A^1(x) \cdot A^5(-\alpha) \cdot A^2(H) \cdot \vec{r}(\theta, \rho) \cdot \frac{d\phi}{dt} + \vec{i} \cdot S_0; \quad (2)$$

$$\vec{V}_{oi}(\theta, \rho) = \omega \cdot \begin{vmatrix} p \\ -z - \cos \theta \cdot \sin \alpha \cdot (R_{\max} - \rho \cdot \cos \alpha) - \rho \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \\ H + \sin \theta \cdot (R_{\max} - \rho \cdot \cos \alpha) \end{vmatrix},$$

де  $\omega = \frac{d\phi}{dt}$  – кутова швидкість;  $p = \frac{S_0}{2\pi}$  – параметр гвинтового руху.

Вперше в явному функціональному вигляді отримано [5; 8] рівняння для знаходження швидкості підведення припуску по ділянках контакту в напрямку нормалі до поверхні інструмента. Після перетворень це рівняння має вигляд:

$$V_n(\rho, \theta) = \omega \cdot \left\{ \left[ R_{\max} \cdot \cos^2 \alpha - \rho \cdot \cos \alpha - z \cdot \sin \alpha \right] \cdot \sin \theta + \right. \\ \left. + \left( H \cdot \sin^2 \alpha + \frac{\rho}{2} \cdot \sin 2\alpha \right) \cdot \cos \theta + H \cdot \cos^2 \alpha - \frac{\rho}{2} \cdot \sin 2\alpha \right\}, \quad (3)$$

де  $\theta, \rho$  – криволінійні координати торцевої конічної поверхні інструмента, які відповідають за зміну радіального розміру відповідно, параметр  $\rho$ , що спрямований вздовж твірної конічної поверхні торця від найбільшого радіуса та кутового положення навколо осі інструмента;

$\alpha$  – кутова орієнтація інструмента, який встановлений на колоні верстата та в такому положенні проходить правку;

$R_{\max}$  – максимальний радіальний розмір круга;

$z$  – координати, які відповідають за вертикальне та поздовжнє переміщення.

Аналіз цього рівняння (рис. 3), проведений для вказаного способу обробки, доводить раціональний характер зміни навантажень вздовж контакту порівняно з відомими та перспективними методами. Крім того, методика дозволяє враховувати вплив подачі  $p$  на значення цього добутку, чим у більшості випадків нехтують.

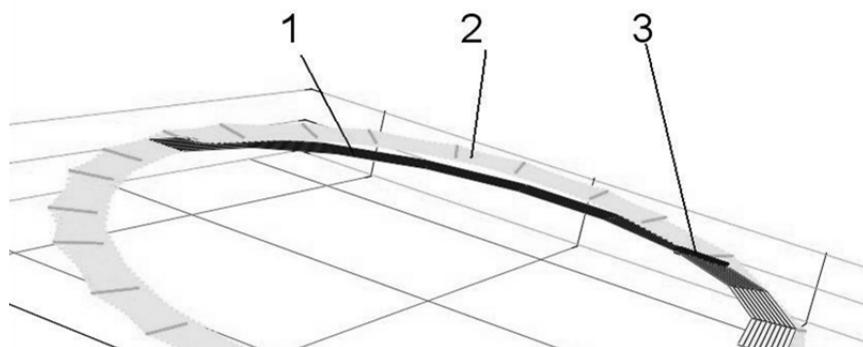


Рис. 3. Етюра зміни навантажень  $V_n$ , викликаних підведенням припуску до торця інструмента: 1 – поверхня відліку, 2 – етюра зміни навантажень по поверхні торця  $V_n$ , 3 – характеристика

Рівняння зв'язку між параметрами  $\theta(\rho, H)$  лінії контакту  $V_n=0$ , та її похідними по параметрах  $\rho, H$  із урахуванням прийнятих позначень можна записати, використовуючи деяку допоміжну функцію  $C(\rho, H)$ , або подати її із достатньою для практики точністю у вигляді лінійного полінома (рис. 4):

$$C(\rho, H) = \frac{R(\rho) \cdot \cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha \cdot \sqrt{R(\rho)^2 - H^2 \cdot \cos 2\alpha}}{(R(\rho)^2 + H^2 \cdot \sin^4 \alpha) \cdot \sqrt{R(\rho)^2 - H^2 \cdot \cos 2\alpha}} \approx Kt_1 \cdot \rho + Kt_2 \cdot H^2 + Kt_3; \quad (4)$$

та

$$\theta_\rho = \frac{\partial \theta}{\partial \rho} = -H \cdot \cos \alpha \cdot C(\rho, H); \quad \theta_H = \frac{\partial \theta}{\partial H} = -R(\rho) \cdot C(\rho, H);$$

$$\theta(\rho, H) = \Delta X \cdot \left[ (Kt_1 \cdot \rho_0 + Kt_3) \cdot H + Kt_2 \cdot \frac{H^3}{3} \right], \quad (5)$$

де  $\theta_\rho, \theta_H$  – похідні рівняння зв'язку, які залежать від відстані  $H$ , діаметральних розмірів інструмента та кута правки  $R(\rho)$  – радіальне положення базової точки;  $\Delta X$  – проекція відстані між центрами систем координат на ось.



Коефіцієнти  $Kt_1$ ,  $Kt_2$ ,  $Kt_3$  знаходять, наприклад, за принципом Лежандра, мінімізуючи похибку заміни лінійним поліномом [5;11]. Розрахунками доведено, що навіть при регулюванні параметра  $H$  у широкому діапазоні така заміна може бути прийнятною.

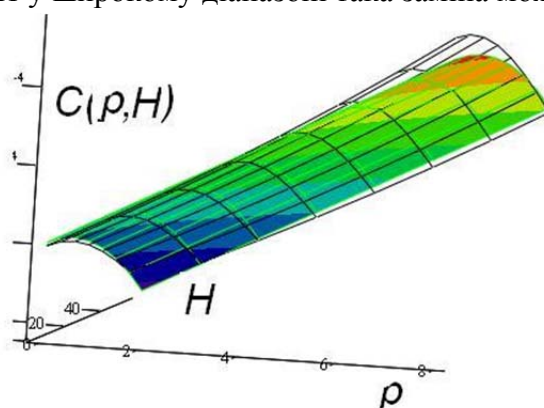


Рис. 4. Порівняльні графіки залежностей функції  $C(\rho, H)$  з апроксимуючим її лінійним поліномом

Порівняння характеру епюр інтенсивності підведення припуску [9] для питомої продуктивності та нормальної швидкості методів поздовжнього шліфування, що використовують на верстаті “Quickpoint 1002”. Erwin Junker [10; 11] та згідно з новими способами наведено на рис. 5.

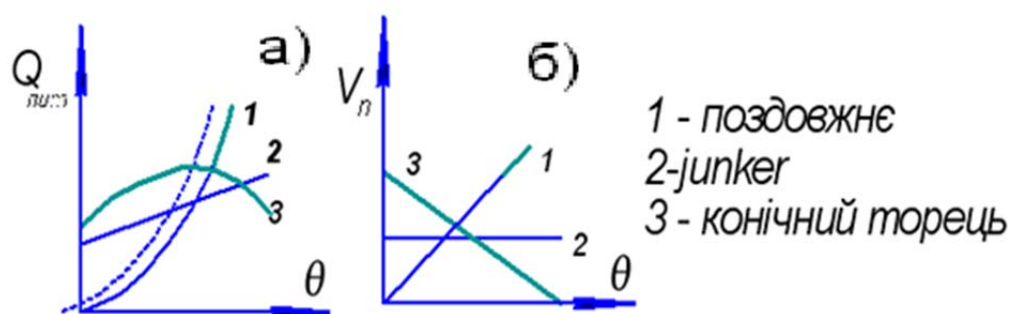


Рис. 5. Графіки питомої продуктивності (а) та нормальної швидкості (б) для відомих та нових методів

Отже, згідно з аналізом графіків, для нових способів обробки у міру наближення до границі контакту відбувається зменшення навантаження ділянок при раціональному підведенні припуску на більшості площі. Разом з тим найбільш навантаженою для відомих способів обробки з поздовжньою подачею є лише вузька смужка на вході кромки до контакту.

Рівняння (1) із урахуванням зв'язку (5) визначають лінію контакту (рис. 6; 7) між інструментом та деталлю. Векторне рівняння формотворних точок лінії контакту поверхні інструмента, перенесених до системи координат деталі, задовольняє векторному рівнянню:

$$\vec{r}_{oi}(\rho) = \begin{bmatrix} X_{oi} \\ Y_{oi} \\ Z_{oi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\rho \cdot \sin^2 \alpha + R(\rho) \cdot \cos \theta(\rho) \cdot \cos \alpha \\ R(\rho) \cdot \sin \theta(\rho) + H \\ Z + R(\rho) \cdot \cos \theta(\rho) \cdot \sin \alpha + \rho \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де  $z$  – відстань між осями систем координат;  $\rho$  – лінійний параметр заправленого конічного торця круга, що вимірюють у напрямку від периферії.

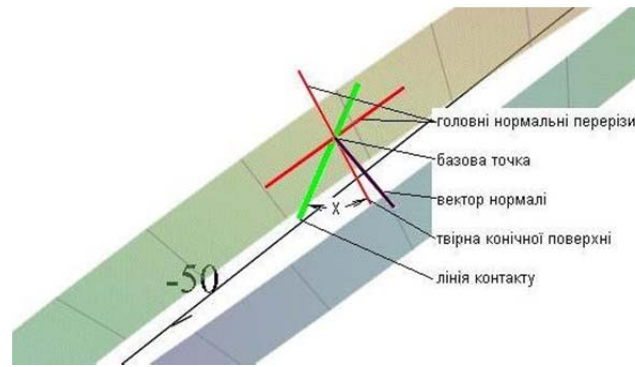


Рис. 6. Локальна геометрія контакту в околі базової точки та схема до визначення кривизни конічної поверхні торця – отримані розрахунком у пакеті програм MathCAD

Диференціювання лінії контакту за радіальним параметром  $\rho$  відповідає вектору  $D_E(\rho_0)$  дотичної до неї, який після спрощень має вигляд (рис.7):

$$\overrightarrow{D_E(\rho_0)} = \frac{\partial \vec{r}(\theta(\rho_0), \rho_0)}{\partial \rho} = \begin{bmatrix} \cos \theta_0 \cdot \cos \alpha - \theta'_0 \cdot R_0 \cdot \sin \theta_0 \\ \theta'_0 \cdot R_0 \cdot \cos \theta_0 + \sin \theta_0 \cdot \cos \alpha \\ -\sin \alpha \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (7)$$

де  $\theta_0$  – значення кутового параметра  $\theta$  конічної поверхні у базовій точці характеристики  $E$ .

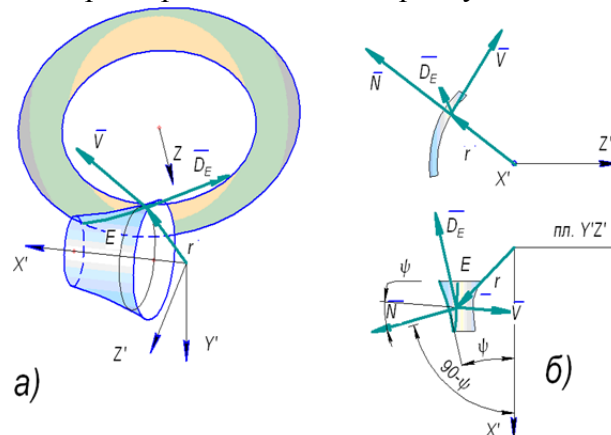


Рис. 7. Схема до знаходження кута нахилу та кривизни ділянки профілю деталі:

а – відносно розташування векторів  $\overrightarrow{D_E}$ ,  $\overrightarrow{V}$  дотичних до характеристики  $E$  та прямої деталі; б – визначення нормалі  $\overrightarrow{N}$  до поверхні обертання деталі та куту  $\psi$  нахилу ділянки профілю

Знайдемо радіус кривизни фрагмента профілю.

Відомо, що для довільної гладкої поверхні, у околі деякої (базової) точки, кривизну нормального перерізу визначають згідно з теоремою Ейлера:

$$K_\chi = K_1 \cdot \cos^2 \chi + K_2 \cdot \sin^2 \chi, \quad (8)$$

де  $\chi$  – кут орієнтації навколо головної нормалі між ейлеревим та головним перерізами,  $K_\chi, K_1, K_2$  – ейлерева та головні нормальні кривизни, причому для конічної поверхні кру-

га з кутом конуса  $\alpha$  вони відповідно дорівнюють  $K_1 = 0$ ,  $K_2 = \frac{\sin \alpha}{[R_{\max} - \rho \cdot \cos \alpha]} = \frac{\sin \alpha}{R_0}$ ;

$R_0 = R_{\max} - \rho_0 \cdot \cos \alpha$  – радіус базової точці, де контактують номінальні поверхні інструмента і деталі.

Таким чином, кривизну конічної поверхні торця інструмента у площині контакту визначають:

$$K_{\chi} = \frac{\sin \alpha}{R_{\phi}} \cdot \sin^2 \chi. \quad (9)$$

У наведеному рівнянні невідомим є кут  $\chi$  між характеристикою та твірною конічної поверхні, який відповідає орієнтації навколо головної нормалі. Це підкреслює важливість зручного знаходження характеристики.

Відомо, як визначають косинус кута  $\chi$  між двома додатними напрямками довільних кривих поверхні. Для робочої конічної поверхні інструмента такими напрямками є радіальна твірна (перший) та дотична до характеристики (другий напрям). Використовуючи коефіцієнти квадратичної форми [3], після спрощень знаходять радіус кривизни фрагмента інструмента у нормальній ейлеревій площині дотичній до характеристики, що утворює ділянку профілю деталі.

$$R_{\chi} = \frac{R_{\phi}}{\sin \alpha} + \frac{1}{R_{\phi} \cdot \theta_{\rho}^2 \cdot \sin \alpha}. \quad (10)$$

Епюра зміни вказаних радіусів у функції міжосьової відстані наведена у роботі [5]. Однак цей плоский нормальний переріз поверхонь деталі та інструмента, що проходить через характеристику, є повернутим щодо осьової площини деталі. Тому кривизна ділянки її профілю буде відрізнятися від знайденої за рівнянням (10). Цю залежність, у свою чергу, також можна знайти за теоремою Ейлера [3] з рівняння (8).

$$K_1 = \frac{K_{\chi} - K_2 \cdot \sin^2 \zeta}{\cos^2 \zeta}. \quad (11)$$

Головні Ейлереві перетини деталі, як поверхні обертання, проходять через її ось та вектор швидкості  $\vec{V}_{oi}(\theta, \rho)$ , що відповідає відносному руху подачі. Тому косинус кута  $\zeta$  між ними визначають через їх скалярний добуток:

$$\cos \zeta = \frac{\vec{D}_E(\rho_{\phi}) \cdot \vec{V}_{oi}(\rho_{\phi})}{|\vec{D}_E(\rho_{\phi})| \cdot |\vec{V}_{oi}(\rho_{\phi})|}, \quad (12)$$

де довжину вектора дотичної знаходять, врахувавши залежність (7):

$$|\vec{D}_E(\rho_{\phi})| = \sqrt{1 + (\theta'_{\rho} \cdot R_{\phi})^2}. \quad (13)$$

Остаточно знаходять кривизну профілю фрагмента деталі, враховуючи залежності (10), (12), (13).

Радіальні розміри деталі у формотвірній точці згідно з (11) та (6) мають значення:

$$R_{\phi}(H, \rho_{\phi}) = \frac{1}{K_2} = \sqrt{Y_{oi}^2 + Z_{oi}^2}. \quad (14)$$

Змінюючи параметр  $\rho$  у межах конічної ділянки заправленої торцевої поверхні, отримують рівняння ділянки профілю обробленого рядка.

Визначимо вплив зміни розміру між осями  $H$  на діаметральний.

Проведемо диференціювання виразу (14):

$$\frac{\partial R_{\phi}(H)}{\partial H} = \frac{2 \cdot \partial Y_{oi} \cdot \frac{\partial Y_{oi}}{\partial H} + 2 \cdot \partial Z_{oi} \cdot \frac{\partial Z_{oi}}{\partial H}}{2 \cdot \sqrt{Y_{oi}^2 + Z_{oi}^2}}, \quad \text{або} \quad (15)$$

$$\partial R_{\phi}(H) = \frac{Y_{oi} \cdot [R(\rho_{\phi}) \cdot \theta_H \cdot \cos \theta(\rho_{\phi}) + 1] - Z_{oi} \cdot R(\rho_{\phi}) \cdot \theta_H \cdot \sin \theta(\rho_{\phi}) \cdot \sin \alpha}{R_{\phi}(H_0, \rho_{\phi})} \cdot \partial H.$$

Після подальшого інтегрування значень під час зміни міжосьової відстані  $H$  у межах  $[H_0, H_1]$  можна визначати кривизну  $K_2$  та характер зміни профілю обробленої поверхні, який коригують за необхідності додаванням поперечної подачі.

$$R_{\phi\phi}(H) = \int_{H_0}^{H_1} dR_{\phi\phi}(H). \quad (16)$$

Кут нахилу  $\psi$  ділянки профілю, що утворюється відносно осі деталі, визначають:

$$\cos(90^\circ - \psi) = \sin \psi = \vec{n} \cdot \vec{i}. \quad (17)$$

Тут векторний добуток визначає орт нормалі до площини, що дотична до фрагмента поверхні деталі.

$$\vec{n} = \frac{\vec{D}_E(\rho_{\phi}) \cdot \vec{V}_{\phi i}(\rho_{\phi})}{|\vec{D}_E(\rho_{\phi})| \cdot |\vec{V}_{\phi i}(\rho_{\phi})|}. \quad (18)$$

Ефективну обробку ступінчастих циліндричних поверхонь також можна проводити, використовуючи керування міжосьовою висотою. Отриманий патент України на спосіб шліфування [6].

Керування геометрією контакту викликає перерозподіл навантажень на ділянки профілю інструмента (рис. 8).

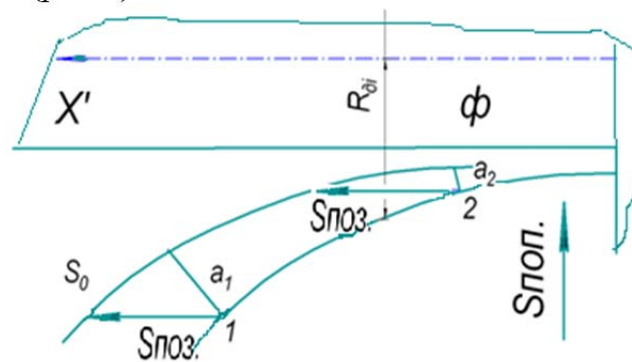


Рис. 8. Зменшення товщини зрізів  $a_1$  та  $a_2$  вздовж профілю круга у бік до формотворної точки  $\Phi$  між сусідніми поверхнями різання при утворення фрагмента деталі

Круг працює у режимі глибинного шліфування, що забезпечує більшу довжину навантаження його профілю та значні розміри контакту. Таким чином, за один робочий хід можна проводити багатопрохідну обробку, як це, наприклад, здійснено на верстаті "Quickpoint 1002". Erwin Junker [10; 11]. Подібно до цього методу мається виділена розвантажена формотворна ділянка інструмента.

Профіль деталі отримують послідовністю та комбінацією подач: радіальної при обробці фасонного профілю або торця та поздовжньої для циліндричної ступені. Для кожної ступені, торці яких спрямовані в один бік, послідовно проводять урізне та поздовжнє глибинне шліфування.

Під час обробки однієї ступені, в міру наближення до неї, для збільшення радіуса кривизни міжосьову відстань можна зменшувати. Таким чином можна обробляти вали з однаковим напрямком ступенів.

Для обробки протилежно спрямованих торців ступенів вісь шліфувального круга слід дзеркально повернути відносно площини обертання деталі.

Режими шліфування визначають подібно до урізних методів, згідно з методією, яка описана у роботі [9]. Очевидно, доцільно, як це виконують на верстаті «Quickpoint» фірми "Junker maschinen", проводити швидке обертання деталі з метою збільшення хвилинної подачі. Якість торців ступенів, як і під час шліфування тарілчастими кругами, виходить краще, без припалів, порівняно з обробкою торцем круга.

Опукла форма поверхонь обертання є досить поширеною серед деталей машинобудівної галузі. Це і шківні передачі з плоским пасом, і бомбовані поверхні роликів підшипників та інші.

Часто до таких деталей одночасно надають жорсткі вимоги як по шорсткості, так і по точності профілю поверхні.

Для виготовлення опуклих поверхонь тіл обертання слід використовувати правку під кутом  $\alpha$ , що забезпечує утворення впадої конічної поверхні торця інструмента. Розрахунок профілю проводять за подібним алгоритмом.

**Висновки і пропозиції.** Отримана система рівнянь та робочих програм, складених у пакеті програм MathCAD, дозволяють у зручному для практичного використання вигляді з урахуванням усіх кінематичних складових визначати режимні параметри та товщину зрізів з метою навантаження інструмента до граничного рівня, який визначається різальною здатністю.

Матеріали теоретичних досліджень, розрахунків та їх порівняння доводять можливість значного збільшення ефективності обробки шліфуванням поверхонь обертання заправленим на конус торцем круга.

Результати роботи можуть бути впровадженими на існуючому обладнанні після незначної модернізації.

Програми можуть бути використаними для оцінки теплової напруженості таких способів.

#### Список використаних джерел

1. Решетов Д. Н. Точность металлорежущих станков / Д. Н. Решетов, В. Т. Портман. – М. : Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Кальченко В. И. Шлифование криволинейных поверхностей крупногабаритных деталей / В. И. Кальченко. – М. : Машиностроение, 1979. – 160 с.
3. Основи формоутворення поверхонь при механічній обробці : навч. посіб. / Н. С. Равська, П. Р. Родін, Т. П. Ніколаєнко, П. П. Мельничук. – Житомир : ЖІТІ, 2000. – 332 с.
4. Рудик А. В. Шліфування впадів поверхонь обертання конічною поверхнею абразивного інструмента / А. В. Рудик, В. А. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2013. – Вип. 1 (63). – С. 54–59.
5. Рудик А. В. Формоутворення поверхонь обертання торцем круга чашкової форми / А. В. Рудик, В. А. Рудик // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2016. – Вип. 1 (56). – С. 77–83.
6. Пат. 117066 Україна МПК (2017) В 24 В 5/04 Рудик А. В., Рудик В. А. Спосіб шліфування ступінчастих поверхонь обертання конічними поверхнями абразивного інструмента – заявл. на патент України №u201700546 В24В 5/04, пріоритет от 20.01.2017 ; власник патенту ЧНТУ.
7. Пат. №92147 Україна МПК (2014) В24В 5/04 Спосіб шліфування впадів поверхонь обертання конічною поверхнею торця абразивного інструмента / А. В. Рудик, В. А. Рудик. – заявл. на патент України №u201310754 В24В 5/04, пріоритет від 06.09.2013 ; власники патенту Рудик А. В., Рудик В. А.
8. Рудик А. В. Продуктивність високоефективного поздовжнього та глибинного шліфування поверхонь обертання периферією та торцем орієнтованим абразивним інструментом / А. В. Рудик, В. І. Венжега // Вісник Чернігівського національного технологічного університету. – 2014. – Вип. 72. – С. 76–80.
9. Вибір режимів ефективного шліфування поверхонь обертання / А. В. Рудик, О. С. Следнікова, А. П. Подзолкіна, О. Л. Куций // Технічні науки та технології. – 2016. – № 4 (6). – С. 62–70.
10. Круглое шлифование с ЧПУ / Проспект фирмы “Junker maschinen” на станке “Quickpoint 1001” и “Quickpoint 1002”. Erwin Junker. Maschinen fabrik Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618 Nordrach. Germany, 1991. – 16 с.
11. Ефективне шліфування ступінчастих поверхонь на верстаті з ЧПК моделі В3208Ф3 / А. В. Рудик, Г. В. Пасов, В. І. Венжега, В. А. Рудик // Матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (24-26 квітня. 2017, м. Чернігів). – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 60–62.

## References

1. Reshetov, D. N., Portman, V. T. (1986). *Tochnost metallorezhushchikh stankov [Precision of machine tools]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
2. Kalchenko, V. I. (1979). Shlifovaniye krivolineynykh poverkhnostey krupnogabaritnykh detaley. [Grinding of curved surfaces of large-sized parts]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
3. Ravska, N. S., Rodin, P. R., Nikolaienko, T. P., Melnychuk, P. P. (2000). *Osnovy formoutvorenniya poverkhon' pry mekhanichniy obrobsi [Fundamentals of surface shaping under machining]*. Zhytomyr: ZhITI (in Ukrainian).
4. Rudyk, A. V., Rudyk, V. A. (2013). Shlifuvannia vpalykh poverkhon obertannia konichnoi poverkhnei abrazyvnoho instrumenta [Grinding of fallen surfaces of rotation with a conical surface of abrasive tool]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of Chernihiv State Technological University*, issue 1 (63), pp. 54–59 (in Ukrainian).
5. Rudyk, A. V., Rudyk, V. A. (2016). Formoutvorennia poverkhon obertannia tortsem kruha chashkovoi formy [Formation of surfaces of rotation by the end of a circle of cup shape]. *Visnyk Khersonskoho natsional'noho tekhnichnoho universytetu universytetu – Bulletin of Kherson National Technical University*, issue 1 (56), pp. 77–83 (in Ukrainian).
6. Rudyk, A. V., Rudyk, V. A. (2017). *Sposib shlifuvannia stupinchastykh poverkhon obertannia konichnykh poverkhniamy abrazyvnoho instrumenta [Method of grinding of stepped surfaces of rotation with conical surfaces of abrasive tool]*. Patent UA No. 117066.
7. Rudyk, A. V., Rudyk, V. A. (2014). *Sposib shlifuvannia vpalykh poverkhon obertannia konichnoi poverkhnei tortsia abrazyvnoho instrumenta [Method fallen grinding surfaces of revolution conical end surface of the abrasive tool]*. Patent UA No. 92147.
8. Rudyk, A. V., Venzheha, V. I. (2015). Produktivnist vysokoeffektyvnoho pozdovzhnoho ta hlybynnoho shlifuvannia poverkhon obertannia peryferiiei ta tortsem oriietovanykh abrazyvnykh instrumentom [Performance is highly length and depth grinding surfaces of revolution periphery and end face oriented abrasive]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of Chernihiv State Technological University*, issue 1 (77), pp. 59–64 (in Ukrainian).
9. Rudyk, A. V., Slidnikova, O. S., Podzolkina, A. P., Kutsiy, O. L. (2016). Vybir rezhymiv efektyvnoho shlifuvannia poverkhon' obertannia [Selection modes for effective grinding surface rotation]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Bulletin of Chernihiv State Technological University*, issue 4 (6), pp. 62–70 (in Ukrainian).
10. *Krugloe shlifovanie s CHPU/Prospekt firmy Junker maschinen na stanke Quickpoint 1001 i Quickpoint 1002 Erwin Junker Maschinen fabric GmbH Junkerstraße 2 Postfach 25 D 7618 Nordrach (1991)[Cylindrical grinding CNC “Junker maschinen” company prospectus on the machine “Quickpoint, 1001” and “Quickpoint, 1002”. Erwin Junker. Maschinen fabric GmbH, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 7618 Nordrach]. Germany (in Russian).*
11. Rudyk, A.V., Pasov, H.V., Venzheha, V.I., Rudyk, V.A. (2017). Efektyvne shlifuvannia stupinchastykh poverkhon na verstaty z CHPK modeli VZ208F3 [Effective grinding of stepped surfaces on a CNC machine tools model B3208Φ3]. Proceeding from VI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Kompleksne zabezpechennya yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system» – The 6th International scientific and practical conference “Integrated quality assurance of technological processes and systems” (April 24-26, 2017). Chernihiv: ChNTU, pp. 60–62 (in Ukrainian).

UDC 621.923.42

Andriy Rudik, Vlad Rudik

## EFFECTIVE SHAPE FORMATION OF ROTATION SURFACES WITH THE BUTT END OF WHEEL

**Urgency of the research.** The grinding surface effectiveness of the rotation surfaces with increasing productivity, improvement quality and energy conservation is a problem of relevance to modern mechanical engineering, which can be solved on CNC machine tools using face finishes with a refilled cup circle.

New promising methods make it possible to control the geometry of contact and the loading of local areas within the contact due to a change in the distance between the rotation axes of the detail and tool.

**Target setting.** In the advanced studies sanctified to the similar subjects, specified, that an angular management the orientation of instrument is able considerably to promote the productivity and quality of treatment; it is possible to process the various forms of surface the instrument of geometrical simply-shaped at simple relative motions.

The actual selection parameters are debugging of software grinding machines for the effective implementation of new methods.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Actual scientific researches and issues analysis.** The problem of effectively forming surfaces, including rotation, while driving a mutual orientation, usually angular, engaged in a number of local scientists, including Rodyn P.R., Ravska N.S., Kalchenko V.I., and other. In addition, the specialists of UNKER (Germany) created a way and efficient equipment for the processing of stepped shafts.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** However on efficiency his form and sharpening kinematics influence largely. These questions in modern literature have only a partial ground and need creation new equipments.

**The research objective.** The purpose of this work is to determine the processing parameters when managing the contact by changing the axial distance. On this basis, theoretically explore the new highly effective methods of grinding surfaces of rotation by the end of the abrasive tool of the cup shape.

**The statement of basic materials.** For precise shaping of the surface of the part, it is necessary at the contact point to maintain the equality of the inclination of the tangent, the conformity of the diametric dimensions and to impose conditions on the radii of curvature of the component in the axial plane and the tool. For processing the fallen section of the profile of the part in the direction of the axial feed, such conditions are lower values of the radius of curvature of the tool, approaching the required value of the corresponding section of the workpiece.

These requirements can be ensured by rational choice of diametric sizes, by changing the values of the angle, which characterizes the cone of the tight end, relative longitudinal and transverse feeds. Using matrices of coordinate transformations, mathematical 3D models of the circle surface, machining and forming on the machine tool are constructed taking into account the values of longitudinal and transverse feeds.

**Conclusions.** The resulting system of equations and work programs, compiled in the MathCAD program package, allows us to determine the mode parameters and the thickness of the sections in a convenient for practical use, taking into account all kinematic components, in order to load the tool to the marginal level determined by the cutting power.

The materials of theoretical studies, calculations and their comparison prove the possibility of a significant increase in the efficiency of the treatment by grinding the surfaces of the rotation, filled to the cone by the end of the circle.

The results of the work can be implemented on existing equipment after a minor upgrade, and simulation - to assess the thermal tension of these methods.

**Key words:** shape formation; contact line; the curvature of the surface; the simulation of processing; accuracy; productivity; quality and efficiency; details profile.

Fig.: 8. Bibl.: 11.

УДК 621.923.42

Андрей Рудик, Владислав Рудик

## ЭФФЕКТИВНОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ВРАЩЕНИЯ ТОРЦОМ КРУГА

Рассмотрены предложенные новые способы шлифования как фасонных, так и ступенчатых поверхностей вращения заправленным на конус торцом абразивного инструмента чашечной формы. Способы позволяют повысить производительность и качество обработанных поверхностей при рациональной загрузке рабочей поверхности круга вдоль пятна контакта. Рост эффективности можно достигнуть за счет управления межосевым расстоянием, выбором угла правки торца. Это позволяет увеличить размеры контакта и возможную подачу на строку. Улучшение качества обусловлено выделением защищенной базовой формообразующей точки и появлением шероховатости в виде сетки. Новые способы имеют лучшую динамику и позволяют экономить энергию вследствие меньшего времени машинной обработки и использования менее габаритного станка.

**Ключевые слова:** формообразование; линия контакта; кривизна поверхности; моделирование обработки; точность; производительность, качество; эффективность; профиль детали.

Рис.: 8. Библ.: 11.

**Рудик Андрій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Рудик Андрей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Rudik Andriy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Road Transport Industry and Mechanical Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** andrei.rudik@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3582-9279>

**ResearcherID:** H-7173-2014

**Рудик Владислав Андрійович** – інженер

**Рудик Владислав Андреевич** – инженер

**Rudik Vlad** – engineer

**E-mail:** andrei.rudik@gmail.com

УДК 621.923

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-44-53

Дмитро Кальченко

## ТЕОРЕТИЧНЕ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ ЦИЛІНДРИЧНИХ ДЕТАЛЕЙ ТА КРУГІВ З КАЛІБРУЮЧИМИ ДІЛЯНКАМИ

**Актуальність теми дослідження.** Розроблена 3D-модель уперше визначає загальну продуктивність  $Q_s$  обробки двох торців деталей залежно від координати  $\theta_b$  по всій довжині лінії контакту  $L$ .

**Постановка проблеми.** У верстатобудуванні, машинобудуванні та підшипниковій промисловості широко використовуються циліндричні деталі з високоточними торцевими поверхнями, остаточною точністю яких забезпечується фінішними операціями.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** В останніх дослідженнях було розглянуто методику обробку торцевих поверхонь циліндричних деталей з круговою подачею в зону обробки. Використовуються круги без калібруючих ділянок, що вимагає багатопрохідну обробку для отримання необхідної точності, що знижує продуктивність шліфування.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Дослідження продуктивності шліфування кожного торця, потужності, сили різання та їх вплив на загальну продуктивність і точність обробки торців круглих циліндричних деталей кругами з калібруючими ділянками.

**Постановка завдання.** Розробка 3D-моделі продуктивності обробки кожного торця деталі та сумарної продуктивності на базі отриманих значень продуктивності визначення необхідної потужності.

**Виклад основного матеріалу.** Уперше було проведено дослідження сумарної потужності за координатою обробки  $\theta_b$ , яка становить суму потужностей одночасно оброблюваних деталей. Всі дослідження проводилися при постійній кутовій швидкості барабана  $\omega = 4,61^\circ/\text{с}$  і куті, який відповідає зоні обробки  $\theta_{b2} = 65^\circ$ , час обробки становить 14 с, якщо змінюється кут швидкості барабана, кут  $\theta_{b2}$  залишається постійним, то змінюватиметься час обробки.

**Висновки.** Доведено, що при двосторонньому шліфуванні торців одночасно відбувається два процеси з різними за координатою  $\theta_b$  обробки на кожному торці силами різання, припусками, що знімаються, зносами кругів, температурами нагрівання торців, податливостями технологічних систем від кругів до торців, миттєвими продуктивностями, потужностями шліфування, що суттєво впливає на сумарну продуктивність на кожному торці й на загальну продуктивність і точність обробки двох торців. Вперше розроблена загальна методика теоретичного та експериментального досліджень продуктивності, потужності питомої та загальної, сил різання питомих та загальних на лівому та правому торцях деталі.

**Ключові слова:** шліфування; торці деталей; орієнтовані шліфувальні круги; продуктивність шліфування.

Рис.: 8. Бібл.: 6.

**Постановка проблеми.** У верстатобудуванні, машинобудуванні та підшипниковій промисловості широко використовуються циліндричні деталі з високоточними торцевими поверхнями, остаточною точністю яких забезпечується фінішними операціями. В умовах подальшого розвитку ринкових відносин актуальною є проблема розробки нових способів шліфування, які забезпечать підвищення продуктивності й точності обробки торців циліндричних деталей.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На двосторонніх торцешліфувальних верстатах фірми Saturn (Німеччина) [1] виконується обробка торцевих поверхонь циліндричних деталей з круговою подачею в зону обробки. Використовуються круги без калібруючих ділянок, що вимагає багатопрохідної обробки для отримання необхідної точності, що знижує продуктивність шліфування.

У роботах [2; 3] представлено вискоєфективний спосіб однопрохідного двостороннього шліфування торців циліндричних деталей кругами з калібруючими ділянками, що забезпечує підвищення точності формоутворення, продуктивності, за рахунок однопрохідного шліфування, та якості обробленої поверхні.

У роботах [2; 4] досліджено продуктивність двостороннього шліфування торців, однак продуктивність рахується тільки для одного торця деталі, продуктивність шліфування для другого торця, потужність, сили різання, сумарна продуктивність не розглядалися.

При двосторонньому шліфуванні торців одночасно відбувається два процеси з різними за координатою обробки на кожному торці силами різання, припусками, що знімаються, зносами кругів, температурами нагрівання торців податливостями технологічних систем від кругів до торців, миттєвими продуктивностями, потужностями



шліфування, що суттєво впливає на сумарну продуктивність на кожному торці та на загальну продуктивність і точність обробки двох торців.

Підвищення продуктивності й точності обробки потребує теоретичного та експериментального дослідження процесів шліфування на кожному торці і їх вплив на загальну продуктивність і точність.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Дослідження продуктивності шліфування кожного торця, потужності, сили різання і їх вплив на загальну продуктивність і точність обробки торців круглих циліндричних деталей кругами з калібруючими ділянками.

**Мета статті.** Розробка 3D-моделі продуктивності обробки кожного торця деталі та сумарної продуктивності на базі отриманих значень продуктивності визначення необхідної потужності. При експериментальних дослідженнях визначення питомої потужності за координатою обробки, сил різання та сумарних потужностей і сил різання при шліфуванні деталей, які знаходяться в зоні обробки.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 зображено схему процесу двостороннього шліфування торців циліндричних деталей шліфувальними кругами 1, 2 з калібруючими ділянками 3, 4. Заготовки 5 закріплені в барабані подачі виробів 6, в отворах 8 (рис. 1, А-А) з зазором. Шліфувальні круги 1, 2 разом з бабками двостороннього торцешліфувального верстата повернуті на кути  $\psi$  у вертикальній та  $\phi$  в горизонтальній площинах. Кути орієнтації шліфувальних кругів обираються залежно від величини припуску  $\delta$ , що знімається з заготовки. Правка калібруючих ділянок 3, 4 здійснюється алмазним олівцем 7, який розташований на радіусі  $R_a = R_b$ . При подачі деталей 5 у зону обробки по направляючих щічках 11 деталі 5 зміщуються в осьовому напрямку на величину  $\Delta\delta$  (рис. 1, Б), що збільшує припуск, що знімається, на одному торці і зменшує на другому, це призводить до різних продуктивностей, сил різання, зносу кругів.

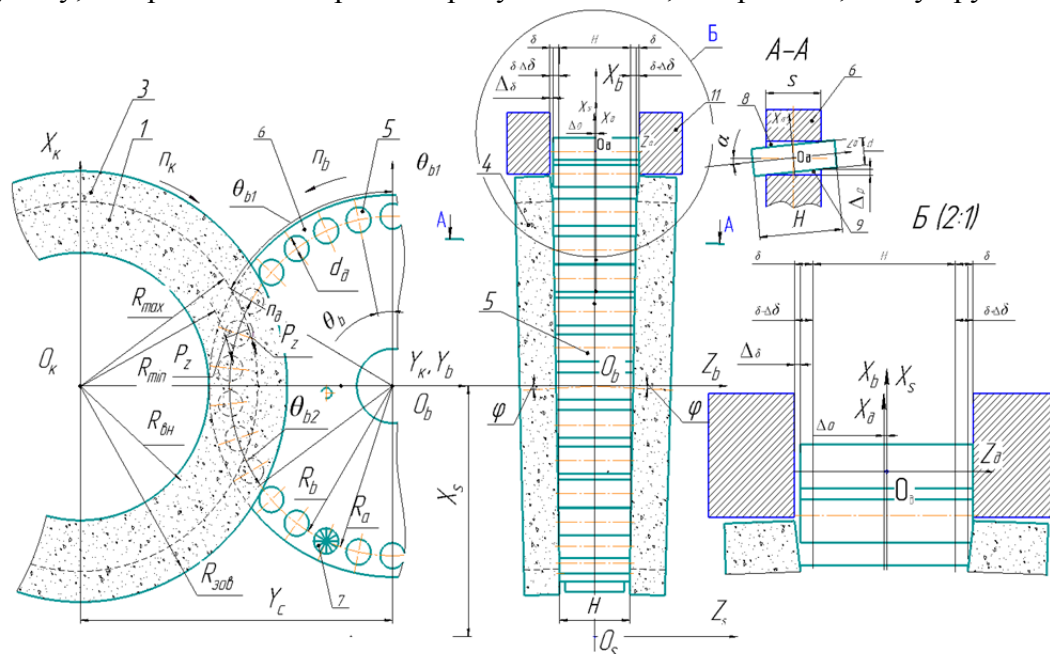


Рис. 1. Схема обробки деталей, що обертаються

Крутний момент  $M$ , який обертає деталі 5 під час обробки (рис. 1), визначається за формулою:

$$M = 2(R_{\max} - R_{\min}) \cdot P_z, \quad (1)$$

де  $P_z$  – значення сили різання на максимальному  $R_{\max}$  та мінімальному  $R_{\min}$  радіусах дотику шліфувального круга 1 та деталі 5 діаметром  $d$ .

Обертання деталі під час обробки дає нерівномірне зняття припуску за площею до-  
тику круга та деталі, що зменшує продуктивність обробки та збільшує знос кругів.

При обробці торців заготовок 5, що обертаються у процесі шліфування, базування виконується в отворах 8 барабана подачі 6 з зазором  $\Delta p$ , у зв'язку з чим виникає не перпендикулярність торців до осі деталі через їх поворот на кут  $\alpha$ , якій дорівнює:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta p}{S}, \quad (2)$$

де  $S$  – висота (рис. 1, А-А) барабана подачі 6.

Тому при обробці високоточних деталей прийнято базувати їх без зазорів як показано на рис. 2.

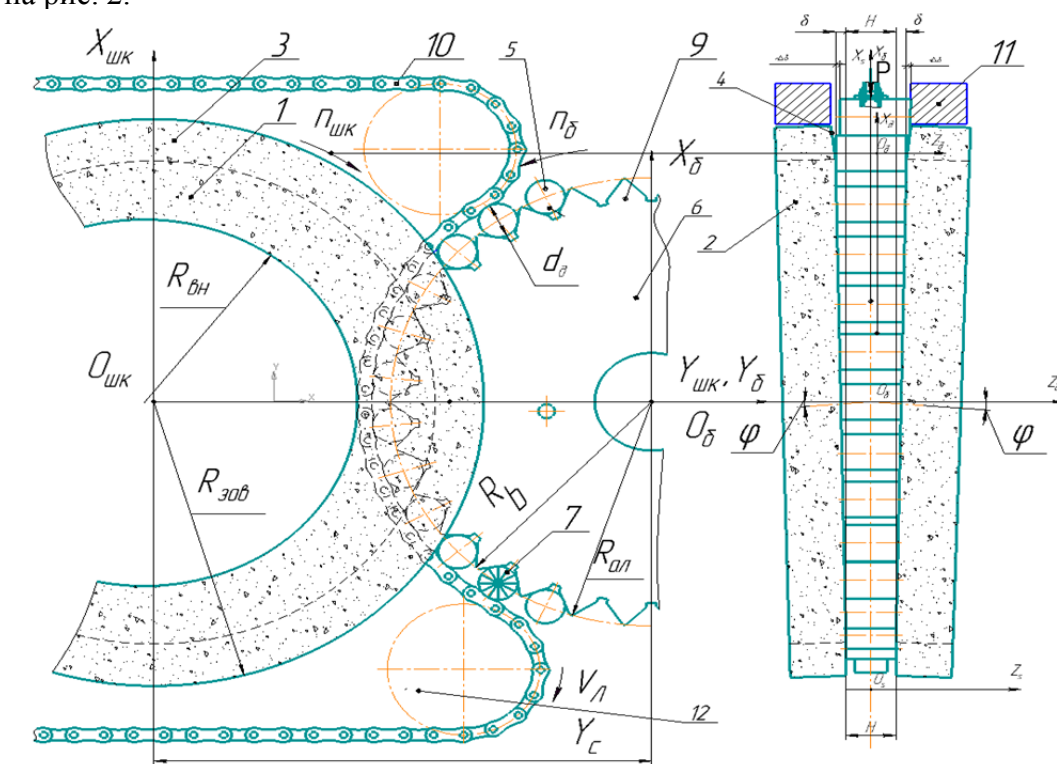


Рис. 2. Схема обробки деталей, що не обертаються

Беззазорна схема базування відбувається при загрузці деталей 5 (рис. 2) у призми 9, де вони притискаються силами  $P$ , які лежать у площинах, що проходять через вісь деталей 5 та вісь барабана подач 6. Сили  $P$  забезпечуються ланцюговим механізмом 10, де на ділянці притиску швидкість ланцюга  $V_L$  та деталей 5 однакові, це забезпечується за рахунок передаточного відношення привода барабана 6 і ведучою зірочкою 12.

При шліфуванні штовхачів 5 з різними діаметрами, вони базуються в отворах 8 (рис. 3, а, А-А) барабана 6 з зазором  $\Delta p$ , у зв'язку з чим виникає неперпендикулярність торців до осі деталі через їх поворот на кут  $\alpha$ , який розраховується за формулою (2).

При шліфуванні максимальна неперпендикулярність виникає на більшому діаметрі, і якщо вона перевищує допустиму, то базування виконується у призмах 9 (рис. 2) за беззазornoю схемою. Обробка ведеться з поворотом кожного наступного штовхача на  $180^\circ$ , що вирівнює сумарні нормальні сили різання  $P_{nl}$ ,  $P_{np}$ , продуктивність обробки  $Q_1$  та  $Q_n$  (4) зноси кругів  $I_{inl}$ ,  $I_{inr}$ , сумарні податливості технологічних систем  $P_{il}$ ,  $P_{ip}$ , що підвищує продуктивність і точність шліфування.

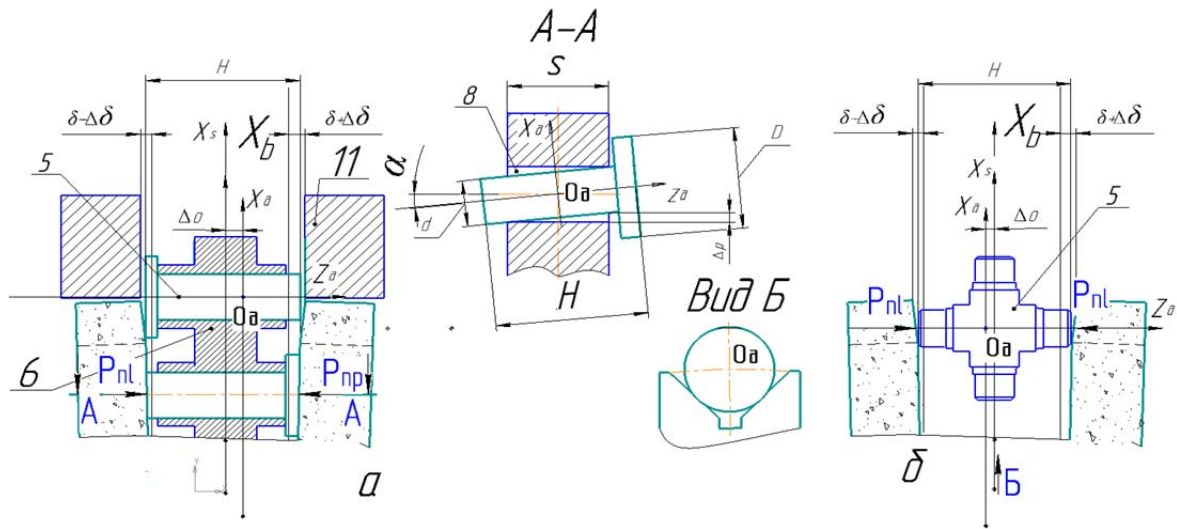


Рис. 3. Схема обробки циліндричних деталей з осовою фіксацією в барабані подачі: а – шліфування штовхачів з різними діаметрами торців; б – шліфування хрестовин з осовою фіксацією у призмах барабана подачі

При шліфуванні хрестовин 5 (рис. 3, б) з осовою фіксацією у призмах барабана 6 (рис. 3, б, вид Б) виникає похибка базування  $\Delta o$  вздовж осі оброблювальної деталі, що збільшує асиметричність торців. Для підвищення точності обробки потрібно зменшувати похибки припуску, та похибку базування  $\Delta o$ .

Максимальна продуктивність, яка забезпечує необхідну точність та якість, є інтегральним показником процесу шліфування різних поверхонь. Розроблена 3D-модель вперше визначає загальну продуктивність  $Q_s$  обробки двох торців деталей залежно від координати  $\theta_b$  по всій довжині лінії контакту  $L$ . Вона дорівнює:

$$Q_s = Q_l + Q_p, \quad (3)$$

де  $Q_l$  і  $Q_p$  – продуктивності обробки лівого і правого торців деталей.

Лівий торець у системі координат деталі (рис. 1, 2) має координату  $-Z_d = -\frac{H}{2}$ , а правий  $Z_d = \frac{H}{2}$ , де  $H$  довжина деталі.

$$Q_s = \sum_{n=1}^m \int^{T_n} \left( \int_{i_{1l}}^{i_{2l}} \left( \int_{\theta_{1kil}}^{\theta_{2kil}} \overline{V_{inl}} \cdot \overline{n_{inl}} \cdot (R_{il} - I_{inl} \cdot \sin \alpha_{inl} - \Pi_{il} - \Delta \delta - \Delta o) \left[ 1 - \exp \left( -\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0} \right) \right] \cdot d\theta_{kl} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{dR_{inl}}{di} \right)^2 + \left( \frac{dz_{inl}}{di} \right)^2} \cdot di \right) \cdot dT_n + \\ + \sum_{n=1}^m \int^{T_n} \left( \int_{i_{1p}}^{i_{2p}} \left( \int_{\theta_{1kip}}^{\theta_{2kip}} \overline{V_{inp}} \cdot \overline{n_{inp}} \cdot (R_{ip} - I_{inp} \cdot \sin \alpha_{inp} - \Pi_{ip} + \Delta \delta + \Delta o) \left[ 1 - \exp \left( -\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0} \right) \right] \cdot d\theta_{kp} \right) \cdot \sqrt{\left( \frac{dR_{inp}}{di} \right)^2 + \left( \frac{dz_{inp}}{di} \right)^2} \cdot di \right) \cdot dT_n, \quad (4)$$

де  $m$  – кількість одночасно оброблюваних деталей 5 (рис. 1, 2);

$T_n$  – час контакту  $n$ -ої деталі 5 з кругами 1, 2;

$i_{1l}, i_{2l}, i_{1p}, i_{2p}$  – граничні значення параметра  $i$  осового перерізу кругів 1, 2 у зоні контакту (рис. 1, 2);

$\theta_{2kil}, \theta_{1kil}, \theta_{2kip}, \theta_{1kip}$  – кутові координати плями контакту на радіусах  $R_{il} - I_{inl} \cdot \sin \alpha_{inl}$ ,  $R_{ip} - I_{inp} \cdot \sin \alpha_{inp}$ ;

$1 - \exp \left( -\frac{\sum b(t, \theta)}{b_0} \right)$  – ймовірність видалення матеріалу заготовки;

$I_{inl}(\theta_b)$ ,  $I_{inp}(\theta_b)$  – знос шліфувальних кругів, який виникає від тимчасового опору, що залежить від температури нагрівання деталі;

$\alpha_{inl}$ ,  $\alpha_{inp}$  – кути нахилу дотичної в  $i$ -тій точці профілю, що визначає напрямок зносу;

$\Pi_{il}$ ,  $\Pi_{ip}$  – сумарні податливості технологічних систем;

$\Delta\delta$  – зміщення припуску  $\delta$ ;

$\Delta o$  – осьове зміщення початку  $O_d$  координат деталі 5 з площини симетрії барабана 6 (рис. 1, 2, 3) яке проходить через осі  $X_b$  барабана,  $X_s$  станини.

Кількість деталей  $m$ , які одночасно обробляються на верстаті, визначаються з виразу:

$$m = \frac{L}{d} + v_p, \quad (5)$$

де  $L = R_b \cdot \theta_{b2}$  – довжина дуги контакту на радіусі  $R_b$ , подаючого барабана 6, деталей 5 з кругами 1, 2 у межах кута  $\theta_{b2}$ ;

$\theta_{b1}$ ,  $\theta_{b2}$  – кути положення деталі на початку обробки та точках  $n$ ;

$d$  – зовнішній діаметр деталі 5;

$v_p$  – відстань між деталями на радіусі  $R_b$  подаючого барабана.

Після розрахунку продуктивності по моделі (3) для дослідження потужності її знаходять із виразу:

$$N_d = a \cdot Q_n, \quad (6)$$

де  $a$  – коефіцієнт, який визначає потужність, що затрачується на знімання одиниці об'єму;

$Q_n$  – питома або сумарна продуктивність, що знаходиться з виразу (3).

Уперше було проведено дослідження сумарної потужності за координатою обробки  $\theta_b$ , яка становить суму потужностей одночасно оброблюваних деталей (рис. 1).

Експериментальні потужності 1, 2 при обробці двох торців однієї деталі зображені на рис. 4. При обробці торців деталі 3, потужність поступово збільшується до моменту, коли деталь повністю зайде в зону чорнової обробки, потім величина потужності має практично стабільне значення, тому що знімається однаковий припуск, рівномірно по дузі обробки, потім йде спад потужності, так як деталь переходить на обробку калібруючими ділянками 5, 6 і в кінці, вихід деталі 4 з калібруючої ділянки. На базі цих потужностей розраховані сили різання  $P_z$  за формулою, наведеною в роботі [6] (рис. 5).

$$P_z = \frac{N_e}{V_{\theta b}}, \quad (7)$$

де  $V_{\theta b}$  – швидкість різання за координатою обробки  $\theta_b$  при шліфуванні.

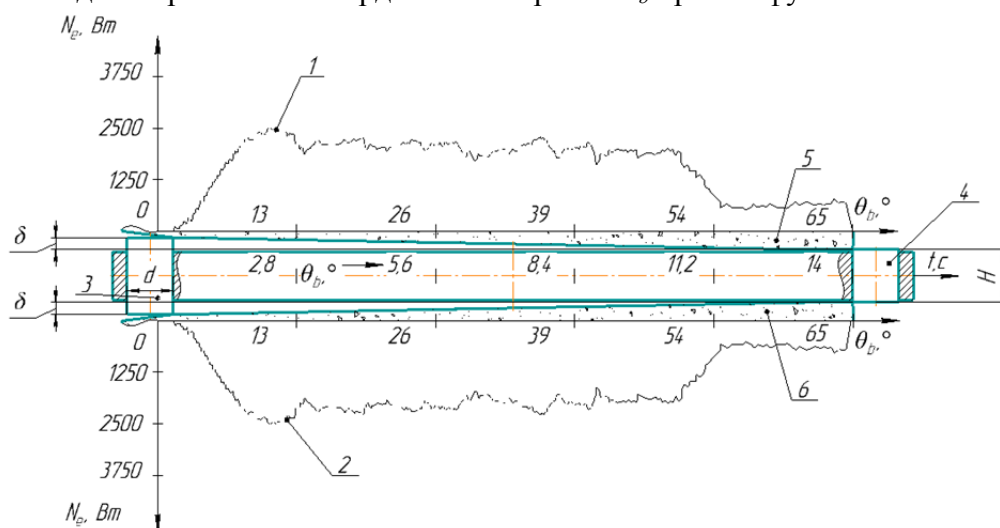


Рис. 4. Ефективна потужність за координатою обробки  $\theta_b$  на двох торцях однієї деталі

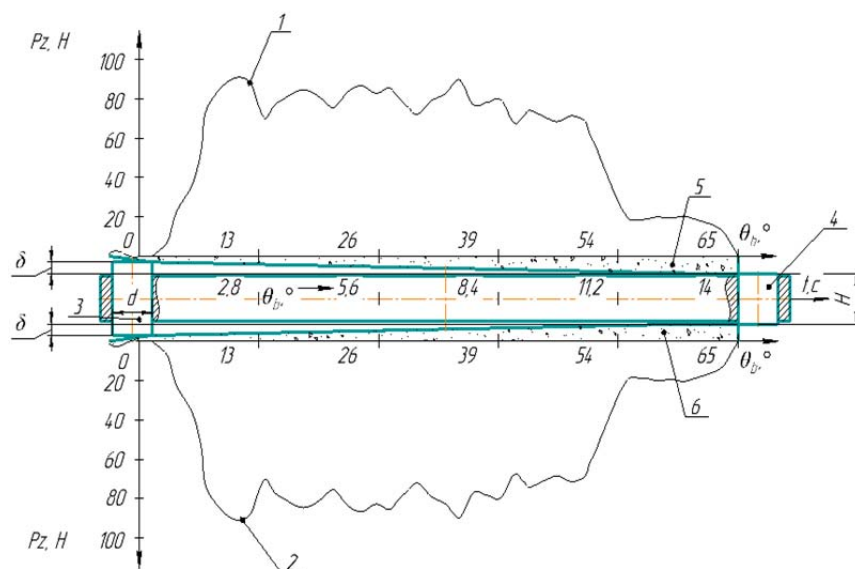


Рис. 5. Сили різання  $P_z$  за координатою обробки  $\theta_b$  на двох торцях однієї деталі

На рис. 6 показано складові сумарної потужності від кожної з 6 деталей (1-6 на графіку); 7 сумарна ефективна потужність; 1', 2', 3' – значення відповідних величин питомої потужності кожної деталі, які в сумі утворюють сумарну потужність за координатою обробки  $\theta_b$ , у поточний момент часу. Максимальна питома потужність описується стовпцями 1"-6". При вході кожної деталі в зону обробки додаються значення потужності шліфування всіх деталей, які перебувають у зоні обробки. При виході кожної наступної деталі сумарна потужність зменшується у випадку обробки тільки для 6 деталей, які потрапляють у кут  $\theta_{b2}$  (рис. 1).

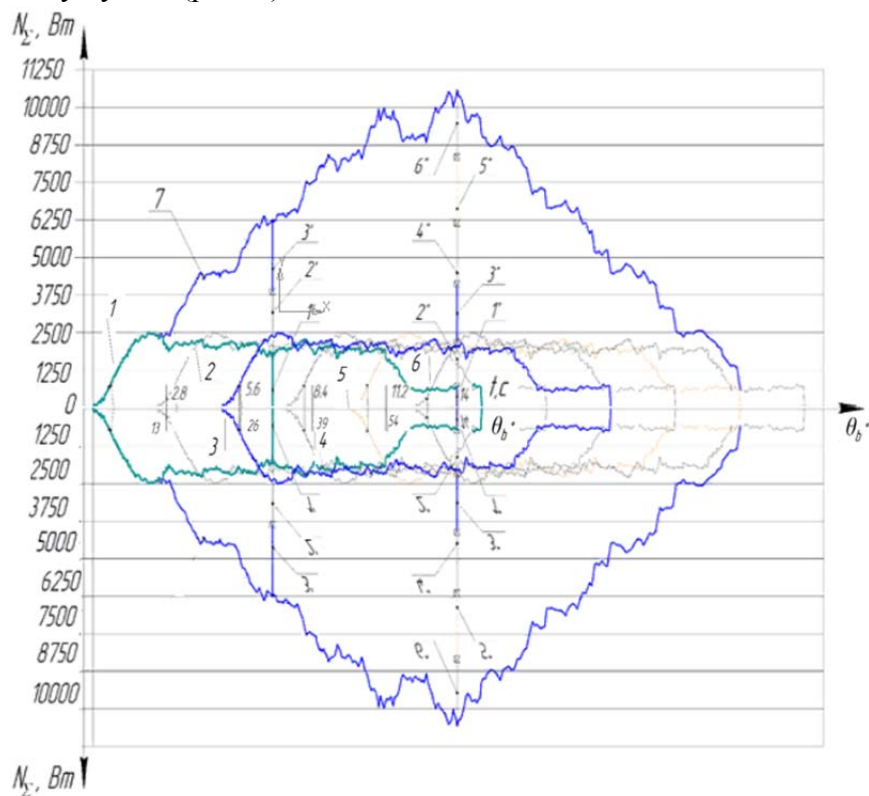


Рис. 6. Питомі та сумарна потужність на довжині дуги контакту в межах кута  $\theta_{b2}$



На рис. 7 показані питомі та сумарна активні потужності на двох торцях при безперервному потоці деталей. 8 – загальна потужність за координатою обробки  $\theta_b$ , яка збільшується до максимального значення, далі при безперервній обробці деталей практично не змінюється; стовпцем 1'', 2'', 3'' показані поточні сумарні значення питомої потужності за координатою обробки  $\theta_b$ . Стовпцями 1'''-6''' показані максимальне сумарне значення питомої потужності за координатою обробки  $\theta_b$ .

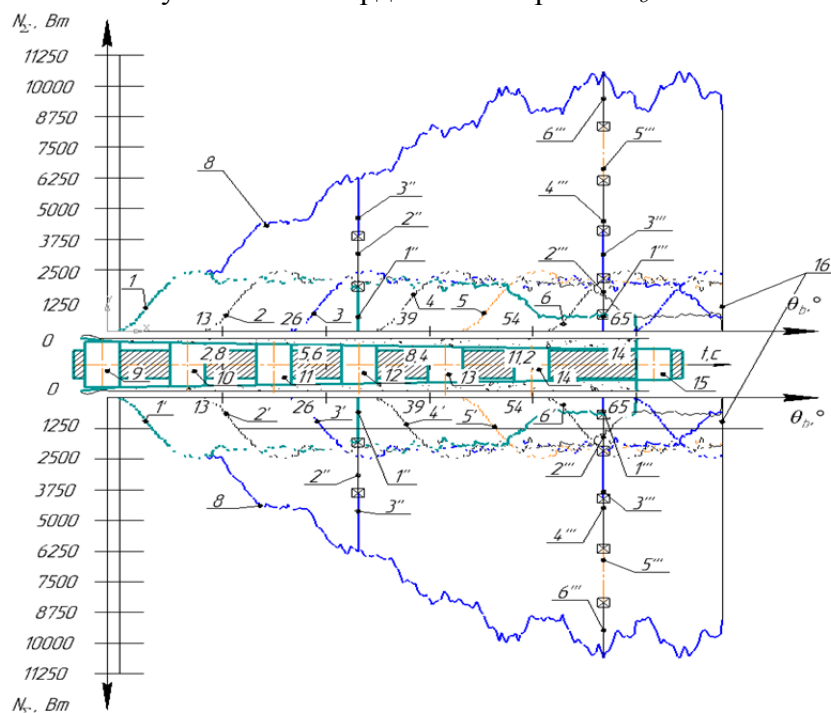


Рис. 7. Питомі та сумарна активні потужності, на двох торцях при безперервній подачі деталей у зону обробки

На рис. 8 показана поточна сумарна сила  $P_z$  при безперервному потоці деталей на двох торцях за координатою обробки  $\theta_b$ . Сила  $P_z$  розраховується за формулою (7), в яку підставляються значення максимальної питомої потужності за координатою обробки  $\theta_b$ , а швидкість шліфування  $V_{\theta b}$  за координатою обробки.

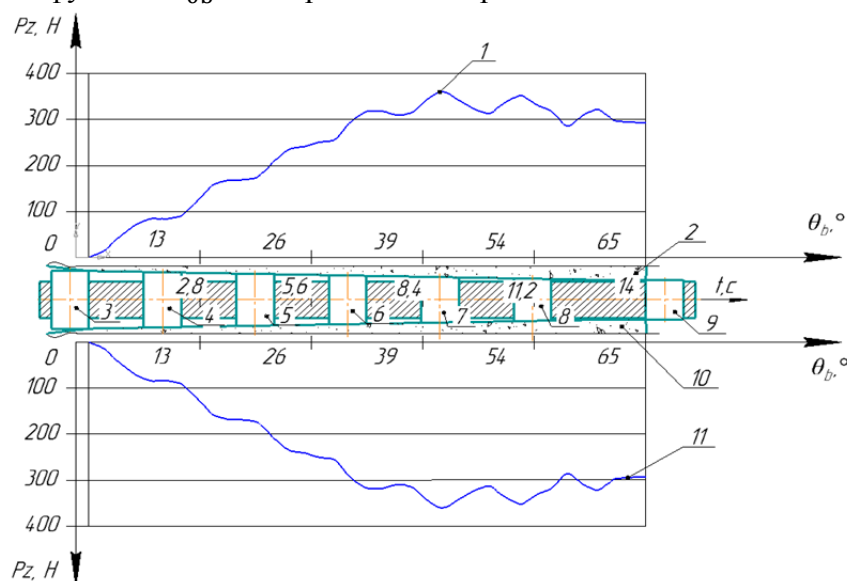


Рис. 8. Сумарна сила різання  $P_z$  за координатою обробки  $\theta_b$  на двох торцях при безперервній подачі деталей у зону обробки

Всі дослідження, які показані на (рис. 4–8), проводилися при постійній кутовій швидкості барабана  $\omega = 4,61^0/\text{с}$  і куті, якій відповідає зоні обробки  $\theta_{b2} = 65^0$ , час обробки становить 14 с, якщо змінюється кутова швидкість барабана, кут  $\theta_{b2}$  залишається постійним, то змінюватися буде час обробки.

При шліфуванні торців хрестовин з діаметром цапф  $\emptyset 13\text{h}7$  (рис. 3, б) ефективна потужність та сили різання  $P_z$  за координатою обробки  $\theta_b$  на двох торцях однієї деталі (рис 4,5) питомі та сумарна активні потужності та сумарні сили різання  $P_z$  на двох торцях при безперервній подачі деталей у зону обробки (рис. 7, 8) будуть однаковими з шліфуванням торців циліндричних роликів  $\emptyset 13\text{h}7$ .

При шліфуванні штовхачів з різними діаметрами торців (рис. 3, а) кругами з калібруючими ділянками довжиною рівною більшому діаметрові  $D$ . Спочатку входить у зону обробки лівий більший торець і потужність поступово збільшується до моменту коли деталь повністю зайде в зону чорнової обробки, потім величина потужності має стабільне значення, тому що знімається однаковий припуск по дузі  $L$  обробки, потім потужність зменшується, оскільки деталь переходить на обробку калібруючими ділянками (рис. 4). Величина потужності розраховується за формулою (6) на базі продуктивності  $Q$ , розрахованої за формулою (4) для лівого торця. Потім розраховується для меншого діаметра, наступного за координатою обробки  $\theta_b$  штовхача, і всі поточні питомі потужності, за координатою обробки  $\theta_b$  додаються стовпцями, як показано на рис. 7.

Максимальна питома потужність буде при вході в зону обробки 6-ї деталі. Сума всіх питомих потужностей за координатою обробки  $\theta_b$  дає загальну сумарну потужність.

Аналогічний розрахунок буде для правого торця  $Q_r$  (4), де обробка починається з меншого торця діаметром  $d$ . При парній кількості деталей у межах ділянки  $\theta_{b2}$  (рис. 1) максимально вирівнюються продуктивності, потужності сили різання, і після 8 деталей для кожного торця цикл повторюється.

Розроблена загальна методика теоретичного та експериментального дослідження продуктивності  $Q_s$ , потужності питомої та загальної, сил різання  $P_z$  питомих та загальних, на лівому та правому торцях деталі.

При цьому розраховують поточні сили різання [5], потужності за координатою обробки  $\theta_b$ , які сумуються стовпцями, що збільшуються при вході кожної наступної деталі. Сумарна максимальна питома потужність (рис. 7) стовпець 1"-6" є також максимальною загальною потужністю 8.

**Висновок.** Розроблена 3D-модель уперше визначає загальну продуктивність  $Q_s$  обробки двох торців деталей залежно від координати  $\theta_b$  по всій дожині лінії контакту  $L$ . Вперше доведено що при двосторонньому шліфуванні торців одночасно відбувається два процеси з різними за координатою  $\theta_b$  обробки на кожному торці силами різання, припусками, що знімаються, зносами кругів, температурами нагрівання торців, податливостями технологічних систем від кругів до торців, миттєвими продуктивностями, потужностями шліфування, що суттєво впливає на сумарну продуктивність на кожному торці й на загальну продуктивність і точність обробки двох торців. Уперше розроблена загальна методика теоретичного та експериментального досліджень продуктивності, потужності питомої та загальної, сил різання питомих та загальних на лівому та правому торцях деталі.

#### Список використаних джерел

1. *Saturn*. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами : [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / Erwin Junker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrath, Germany, 2005. – 8 с.
2. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрецающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Издание 2-е, дополненное. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 504 с.

3. Деклараційний патент України на винахід (корисну модель), №10636B24ВМКЛ5/04. 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. Венжега В. І. Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. І. Венжега. – Х., 2009. – 214 с.

5. 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. 72–82.

6. Теоретичне та експериментальне дослідження процесів знаття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженості під час шліфування торців деталей / В. І. Кальченко, В. І. Венжега, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – №4(6). – С. 25–34.

### References

1. Saturn. Tortcevoe shlifovanie sparennymi shlifoval'nymi krugami: Zhurnal dlja klientov firmy «Junkermaschinen» [Saturn. Mechanical grinding paired grinding wheels: Customer magazine company «Junkermaschinen»] (2005). Erwin Junker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. Nordrash, Germany (in Russian).

2. 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]* (2<sup>nd</sup> ed.). Chernigov: ChDTU (in Russian).

3. Kalchenko, V.V., Zhadan, O.V. (2005). *Sposib odnoshasnoho shlifuvannya dvokh tortsiv tsylindrychnykh detalei [The method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. Deklaratsiynyi patent Ukrainy na vynakhid (korysnu model) № 10636B24ВМКЛ5/04 (in Ukrainian).

4. Venzheha, V.I. (2009) *Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannya tortsiv pry skhreshchenykh osiakh detali ta kruha z kalibruvalnoiu diliankoiu [Improved grinding ends with crossed axes and circle details of calibration plot]. Candidate's thesis.* Kharkiv: National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” (in Russian).

5. Kalchenko, V.I., Kalchenko, V.V., Slidnikova, O.S., Kalchenko, D.V. (2016). *Doslizhennia protsesu shlifuvania tortsiv oriientovanykh detalei profilovanymy kruhamy [Research grinding process ends oriented profiled parts circles]. Bulletin ChSTU. Series: Engineering – Cherkasy ChSTU, no. 4 (2016), pp. 72–82 (in Ukrainian).*

6. Kalchenko, V.I., Venzheha, V.I., Slidnikova, O.S., Kalchenko, D.V. (2016). *Teoretychne ta eksperymentalne doslidzhennia protsesiv zniattia prypusku, znosu kruhiv, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzenosti pid chas shlifuvannya tortsiv detalei [Thoretical and experimental researches of processes of removal of abandonment, wear of circles accuracy of forming and heat stress during grinding of ends of parts]. Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies, no. 4 (6), pp. 25–34 (in Ukrainian).*

UDC 621.923

Dmytro Kalchenko

### THEORETICAL AND EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE PROCESS OF DOUBLE-SIDED GRINDING THE END FACES WITH SKEW AXES OF CYLINDRICAL PARTS, AND CIRCLES WITH CALIBRATED PARTS

**Urgency of the research.** The developed 3D model first determines the overall performance  $Q_s$  of processing the two ends of the parts, depending on the coordinate  $\theta_b$  throughout the ladder of the contact line  $L$ .

**Target setting.** Machine-tool construction, machine-building and bearing industry are widely used cylindrical parts with high-precision end surfaces, the final accuracy of which is provided by finishing operations.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In recent studies, the technique of processing end surfaces of cylindrical parts with a circular feed into the processing area was considered. Circles without calibrating plots are used, which requires a lot of processing to obtain the required precision, which reduces the productivity of grinding.



**Uninvestigated parts of general matters defining.** Study of the productivity of grinding each end, the power, the cutting forces and their influence on the overall performance and accuracy of finishing the ends of round cylindrical parts with circles of calibrated sections.

**The research objective.** Development of 3D model of processing performance of each end of the part and total productivity, based on the acquired performance values for determining the required power.

**The statement of basic materials.** For the first time, a total power analysis was performed on the coordinate of the processing  $\theta b$ , which is the sum of the capacities of the simultaneously machined parts. All studies were conducted at a constant angular velocity of the drum  $= 4.610 / s$  and the angle corresponds to the processing area  $\theta b2 = 650$ , the processing time is 14 seconds. If the angular velocity of the drum changes, the angle  $\theta b2$  remains constant, then the processing time will vary.

**Conclusions.** It has been proved for the first time that when two-sided grinding ends, there are two processes simultaneously with different coordinates  $\theta b$  of processing on each end by the cutting forces, removable assumptions, wear of circles, heating temperatures of faces, pleasures of technological systems from circles to ends, instant productivities, and grinding capacities that significantly affect on the total productivity at each end and on the overall performance and accuracy of the processing of the two ends. For the first time, a general methodology of theoretical and experimental On produktyvnyvnosti research, capacity specific and general, specific cutting forces and common on the left and right ends of the parts.

**Key words:** grinding; details of the parts; oriented grinding wheels; grinding performance.

Fig.: 8. Bibl.: 6.

УДК 621.923

Дмитрий Кальченко

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВУСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦОВ СО СКРЕЩИВАЮЩИМИСЯ ОСЯМИ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ДЕТАЛЕЙ И КРУГОВ С КАЛИБРУЮЩИМИ УЧАСТКАМИ

Разработанная 3D-модель впервые определяет общую производительность  $Q_s$  обработки двух торцов деталей в зависимости от координаты  $\theta b$  по всей длине линии контакта  $L$ . Впервые доказано, что при двустороннем шлифовании торцов одновременно происходит два процесса с различными по координате  $\theta b$  обработки на каждом торце силами резания, снимаемыми припусками, износами кругов, температурами нагревания торцов, податливостями технологических систем от кругов к торцам, мгновенными производительностями, мощностями шлифования, существенно влияет на суммарную производительность на каждом торце и на общую производительность и точность обработки двух торцов. Впервые разработана общая методика теоретического и экспериментального исследований производительности, мощности удельной и общей, сил резания удельных и общих на левом и правом торцах детали. При этом рассчитывают текущие силы резания, мощности по координате обработки  $\theta b$ , суммируются столбцами с увеличением при входе каждой последующей детали.

**Ключевые слова:** шлифовка; торцы деталей; ориентированные шлифовальные круги; производительность шлифования.

Рис.: 8. Библ.: 6.

**Кальченко Дмитро Володимирович** – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Кальченко Дмитрий Владимирович** – магистр, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kalchenko Dmytro** – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

## РОЗДІЛ II. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.791.4

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-54-66

Юрій Фальченко, Олег Новомлинець, Лідія Петрушинець, Ірина Нагорна

### ОСНОВИ ВИКОРИСТАННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ

**Актуальність теми дослідження.** Використання поверхневих фізико-хімічних процесів є перспективним засобом активації для прецизійного з'єднання металевих матеріалів.

**Постановка проблеми.** Сучасна теорія твердофазного з'єднання стосовно використання поверхневих процесів не може повною мірою визначати безпосередні критерії технології зварювання з мінімальним рівнем пластичної деформації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При зварюванні у твердій фазі різних металів і сплавів використання попереднього підігріву деталей, що зварюються, у розведеному стані, може прискорити процес відновлення оксидних плівок та сублімації одного з матеріалів з наступною конденсацією на поверхню іншого.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Застосування сублімованих прошарків при зварюванні різних матеріалів дозволяє отримати міцність на 15...20 % більше міцності з'єднань, зварених безпосередньо тиском. Однак у роботах не досліджено можливість використання таких прошарків для прецизійного зварювання тиском.

**Постановка завдання.** Дослідження впливу поверхневих фізико-хімічних процесів (самоочищення від оксидних плівок, сублімація та конденсація) на здатність до прецизійного зварювання тиском у вакуумі різних металів.

**Викладення основного матеріалу.** Досліджено здатність до прецизійного зварювання тиском міді з молібденом та хромом через мідний сублімований прошарок та міді з титаном через сублімований прошарок з титану.

**Висновки.** Встановлено, що деформація основних матеріалів при зварюванні не перевищує 1 %, а міцність зварних з'єднань міді з молібденом та хромом становить 85...90 % від міцності основного матеріалу (міді), міцність з'єднань міді з титаном – 73...77 % міцності міді.

Запропоновано новий спосіб дифузійного зварювання у вакуумі через тонкі сублімовані активні прошарки. Розроблено новий технологічний процес ДЗВ міді з титаном та титаном з використанням спеціалізованої оснастки, яка дозволяє здійснювати дифузійне зварювання через сублімовані прошарки за один цикл в одній робочій камері.

Запропоновано модель формування нероз'ємних з'єднань при зварюванні тиском у твердій фазі з використанням поверхневих фізико-хімічних процесів.

**Ключові слова:** дифузійне зварювання у вакуумі; поверхневі фізико-хімічні процеси; сублімовані прошарки; прецизійні нероз'ємні з'єднання.

Табл.: 3. Рис.: 3. Бібл.: 28.

**Постановка проблеми.** Деформація має вирішальне значення при зварюванні тиском. Однак при виготовленні сучасних деталей машин, конструкцій та виробів для різних галузей часто виникає необхідність отримання зварних з'єднань з обмеженим рівнем деформації основних матеріалів. Основним технологічним прийомом для прецизійного зварювання тиском є застосування додаткових засобів активації поверхонь та вибір оптимальних параметрів режиму зварювання, що забезпечить допустимий рівень деформації основних матеріалів. При цьому важлива роль відводиться відновленню оксидних плівок на поверхні зразків в процесі зварювання. Проте нині сучасна теорія твердофазного з'єднання стосовно використання поверхневих процесів не може повною мірою визначати безпосередні критерії технології зварювання з мінімальним рівнем пластичної деформації. Тому актуальним є вивчення можливості отримання прецизійних з'єднань металевих матеріалів з використанням поверхневих фізико-хімічних процесів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що атомній взаємодії перешкоджає оксидний шар, що перебуває на поверхні контактуючих металевих поверхонь. В умовах вакууму ( $1,33 \cdot 10^{-6}$ – $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па) і нагрівання ( $0,3$ – $0,7 T_{пл}$ ) пари води, газові молекули й жирові плівки зникають із металевої поверхні. Таким чином, від того, що буде відбуватися під час нагрівання у вакуумі із шаром оксидів, буде залежати зварюваність металів у твердій фазі як в однорідній, так і в різномірній комбінації [1].

При нагріванні у вакуумі багато металів мають блискучий вигляд. Однак це не свідчить про те, що поверхня повністю звільняється від оксидів, тому що, по-перше, при товщині менше 5 нм плівка оксидів стає безбарвною й прозорою, а по-друге, у процесі

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

поверхневої рекристалізації утворюються грані, які відбивають світло, що й створює враження повного очищення поверхні. Оксидні плівки при товщині більше 5 нм починають набувати колір через інтерференцію світла в них [2].

Тонкий оксидний шар на поверхні металу сам по собі має дуже складну будову, яка визначається складом металу і навколишнім середовищем. Так у ніобію є три оксиди ( $\text{NbO}$ ,  $\text{NbO}_2$ ,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$ ), а окалина на залізі має шарувату будову й може складатися залежно від умов із трьох шарів ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), двох шарів ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  або  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) або одного шару ( $\text{FeO}$  або  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) [3]. Оксиди тугоплавких металів мають відносно невисокий питомий об'єм у порівнянні з питомим об'ємом основного металу (особливо W і Mo). Це викликає відшаровування й розтріскування оксидів, що сприяє більш швидкому очищенню поверхонь при нагріванні у вакуумі. Структура оксидів і міцність зчеплення мають різний характер для металів. Найбільш міцно пов'язані з металом оксиди Ti, Zr, Hf, Nb, Ta [4; 5].

Розглянемо процеси, які відбуваються у поверхневому шарі металу під час нагрівання у вакуумі: *дисоціація оксиду; сублімація оксиду; розчинення оксидів; відновлення оксидів; механічний вплив.*

Найбільш імовірним процесом *термічної дисоціації* у процесі дифузійного зварювання у вакуумі є розкладання водяної пари й металу на нагрітій поверхні металу за реакціями:  $2\text{H}_2\text{O} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ ;  $\text{CH}_4 = 2\text{H}_2 + \text{C}$ . Утворені в результаті реакції, водень, вуглець і кисень, реагуючи з нагрітою поверхнею металу, сприяють протіканню процесів, які ми розглянемо нижче.

Дисоціація оксиду може мати місце, якщо парціальний тиск кисню середовища менше пружності дисоціації оксиду. Розрахунки для жароміцних сплавів на Ni основі показують, що у вакуумі  $1,33 \cdot 10^{-3}$ - $1,33 \cdot 10^{-1}$  Па дисоціація не можлива [6]. У роботах [7; 8] стверджується, що є ймовірність дисоціації оксидів тільки таких елементів, як Pt, Ir, Rh, Ru, Os, Cu, Re, Ni, Co, Ge, Sn, Mo, W, Fe. Дисоціація інших елементів не може мати місце при будь-якому практично досяжному вакуумі.

*Умовою сублімації* є перевищення тиску насиченого пару оксиду над парціальним тиском парів того ж оксиду в газовій фазі. За даними робіт [9; 10] при нагріванні у вакуумі до  $0,7 T_{\text{пл}}$  найбільш імовірна сублімація оксидів молібдену, ванадію й нікелю за реакцією:  $\text{MeO}_{(\text{твердий стан})} = \text{MeO}_{(\text{газоподібний стан})}$ . Якщо для ніобію така реакція можлива тільки при  $1775^\circ\text{C}$  [11], то для молібдену й вольфраму вона вже відчутна при  $600^\circ\text{C}$  і  $800^\circ\text{C}$ . Оксид нікелю товщиною 3 нм при  $1200^\circ\text{C}$  випаровується за 13 секунд [6].

У роботі [12] встановлено, що швидкість випаровування багатьох оксидів може бути на кілька порядків вище або нижче швидкості випаровування самих металів. Так, наприклад, сам молібден починає помітно випаровуватися тільки при температурах вище  $1727^\circ\text{C}$ , а оксид  $\text{MoO}_3$  з такою ж швидкістю випаровується вже при  $377^\circ\text{C}$ . У той же час нікель випаровується при температурі  $1000^\circ\text{C}$ , при якій його оксид  $\text{NiO}$  не випаровується.

Цікаво відзначити, що в космічному вакуумі з поверхні металів відбувається сублімація навіть дислокацій [4].

*Розчинення оксидів* проходить у дві стадії. Спочатку відбувається розрив хімічного зв'язку між атомами кисню й металу, а потім атоми кисню дифундують у глиб металу, тобто дифузія є вторинним процесом [13]. Розчинення оксидів шляхом дифузії кисню є характерним способом розкладання поверхневих оксидів для металів, що мають велику спорідненість до кисню (Ti, Zr, V, Nb). Так, при нагріванні титану у вакуумі, вже починаючи з  $700^\circ\text{C}$ , оксидна плівка починає інтенсивно розчинятися в основному металі.

При взаємодії оксидів з деякими речовинами, які дають продукти реакції в газоподібному стані, може відбуватися *відновлення оксидів*. До таких речовин відносять вуглець і його хімічні сполуки типу вуглеводнів, водень, а також хлористий алюміній, фтористий амоній тощо. Розглянемо окремо кожний з можливих процесів відновлення.

*Відновлення вуглецем.* Процес відновлення плівки оксиду при нагріванні у вакуумі є основним для вуглецевмісних і низьколегованих сталей. При відновленні оксиду заліза (FeO) у газову фазу виділяються оксид вуглецю CO і діоксид вуглецю CO<sub>2</sub>, а залізо відновлюється. Дуже важливим є висновок про те, що звільнені від кисню атоми компонентів, що входять до складу оксидів, є матеріалом для прискореного утворення загальних зерен у зоні контакту [10]. Реакція відновлення вуглецем з виділенням CO така:  $m\text{Me}_{n/m}\text{O}_{2/m} + 2\text{C} = m\text{Me} + 2\text{CO}$ . Реакція буде протікати вправо, якщо спорідненість вуглецю до кисню більша, ніж до металу. Діоксид вуглецю (CO<sub>2</sub>) є результатом реакції взаємодії CO і оксиду:  $2n\text{CO}_{(\text{газ})} + \text{MeO}_{2n(\text{ТВ})} = 2n\text{CO}_{(\text{газ})} + m\text{Me}_{(\text{ТВ})}$  [14].

Відновна здатність вуглецю при високих температурах пояснюється тим, що пружність дисоціації CO дуже мала й несуттєво змінюється з температурою. У табл. 1 показано, що відновлення різних оксидів вуглецем найчастіше протікає в певному температурному інтервалі [9]. Згідно з роботою [14] температура відновлення вуглецем FeO визначена як 1050–1000 °C і якщо вона знижується хоча б на 50 °C, то відновлення йде дуже повільно.

Таблиця 1

*Температура початку й кінця відновлення різних оксидів вуглецем*

Оксиди	Початок відновлення, °C	Кінець відновлення, °C
FeO	800	1100
MnO	1000	1200
SiO <sub>2</sub>	1100	1500
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1300	1600
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	1200
MoO <sub>3</sub>	-	1200
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	800	1200
ZrO <sub>2</sub>	1200	1500
TiO <sub>2</sub>	1000	1400
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1000	1400

Як видно з табл. 1, в умовах зварювання у твердій фазі процеси відновлення оксидних плівок на Fe, Mn, Cr, Mo, V можуть носити визначальний характер.

Таким чином, знаючи особливості газовиділення у вакуумі металів, ми можемо орієнтовно оцінювати механізм очищення поверхні від оксидних плівок. Інтенсивне виділення оксиду вуглецю повинне свідчити про інтенсивне очищення поверхні за механізмом відновлення оксиду вуглецем. У табл. 2 на підставі ряду робіт наведені експериментальні відомості про газовиділення деяких металів при нагріванні у вакуумі.

Таблиця 2

*Газовиділення металів при нагріванні у вакуумі*

Метал	Гази, що виділяються	Основне газовиділення		Література
		газ	температура, °C	
Mo*, W, Ni, Cr, V		CO	1000	[10; 16]
Сталь Ст.3	CO, CO <sub>2</sub>	CO	1200	[17]
Нікель	CO, CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	1100-1200	[14]
Нікель	CO, CO <sub>2</sub>	CO	800	[18]
Сталь X18H10T	CO, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub>	400	[19]
Ніобій	CO, H <sub>2</sub> , N <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	900-1250	[11; 4]
Титан	H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O, CO+H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	700-800	[9]

\* – Mo при T ≥ 1000 виділяє CO, а при T > 1200 – N<sub>2</sub>,  
при T < 1000 – H<sub>2</sub>.

Аналізуючи табл. 2 можна зробити припущення про те, що для багатьох металів процес відновлення плівки оксидів вуглецем є найбільш імовірним. Однак ніобій, тантал, титан і аустенітні сталі (18 % Cr і 8 % Ni) явно не характеризуються процесом від-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

новлення оксидної плівки вуглецем. Виділення CO із ніобію, найімовірніше, є наслідком реакції типу  $[C] + [O] \rightarrow [CO_2]$ , тобто реакція може слугувати як для видалення вуглецю, так і кисню, розчиненого в металі. У роботі [15] було знайдено, що вміст кисню після відпалу сплавів ВН-1 і ВН-2 при 1800 °С протягом 10 годин знижувався з 0,05 до 0,005 %. Отже, реакція з виділенням CO іде в ніобії не за шляхом відновлення оксиду вуглецем. Відзначимо, що водень із ніобію видаляється при 900...1400 °С і у вакуумі вище  $1,33 \cdot 10^{-1}$  Па продукти реакції Nb-H втрачають стабільність [11; 16].

За даними роботи [16], при температурі 1000 °С у вакуумі оксид вуглецю виділяється в основному з таких металів: Fe, вуглецева сталь, Ni, ковар, Mo, W. Причому Ni виділяє менше CO порівняно з Fe і вуглецевою сталлю. Необхідно відзначити той факт, що Fe покриті Ni виділяє CO не як Fe, а як Ni. Остання обставина може мати велике практичне значення при виборі проміжних прошарків у випадку зварювання у твердій фазі різнорідних металів.

*Відновлення оксидом вуглецю.* Відновлення оксидом вуглецю відбувається за реакцією:  $2nCO_{(газ)} + M_mO_{2(тв)} = 2nCO_{2(газ)} + mM_{(тв)}$ . Відновлення відбувається з виділенням вуглекислого газу CO<sub>2</sub>. Оксид вуглецю, що виділився з металу (табл. 2), додатково призводить до часткового відновлення оксидів. Залежно від матеріалу, температури нагрівання й глибини вакууму спостерігається присутність у газовій фазі переважно або CO або CO<sub>2</sub>.

Проте оксид вуглецю поряд з відновленням може призводити до утворення карбідів й оксидів. При  $T > 500-600$  °С можлива реакція [14]:  $3Fe + 2CO \rightarrow Fe_3C + CO_2$ ;  $Ni + CO_2 \rightarrow NiO + CO$ ;  $TiO + CO \leftrightarrow Ti + CO_2$ ;  $Ti + 2CO \leftrightarrow TiC + CO_2$  і т. ін. Присутній при вакуумі  $1,33 \cdot 10^{-3}-1,33 \cdot 10^{-1}$  Па метан (CH<sub>4</sub>) розкладається на нагрітій поверхні металу за реакцією  $CH_4 \rightarrow C + 2H_2$ , що може призвести до відновлення оксиду як за рахунок вуглецю, так і водню.

*Відновлення воднем.* Присутні в атмосфері газової фази пари води при взаємодії з нагрітим металом розкладаються із виділенням атомарного водню, який є сильним відновлювачем оксидів. Ідуть реакції дисоціації  $2H_2O = 2H_2 + O_2$  і відновлення  $2nH_{2(газ)} + M_mO_{2(тв)} = 2nH_2O_{(газ)} + mM_{(тв)}$ . Відновлення оксиду воднем іде безупинно, тому що після відновлення оксиду знову утворюються пари води, тобто цикл повторюється. Відновлення оксиду відбувається також воднем, що виділяється з металу, при цьому швидкість відновлення визначається адсорбцією H<sub>2</sub> на поверхні оксиду. Відзначимо, що в металі водяна пара не розчиняється [14]. Водень відновлює оксидну плівку міді вже при нагріванні понад 800 °С:  $Cu_2O + H_2 = 2Cu + H_2O$ . За даними роботи [14], водень може відновлювати оксиди таких металів, як хром, молібден, вольфрам, титан, нікель. Відзначається, що особливо легко відновлюються воднем оксиди нікелю.

*Відновлення фтористим амонієм* починається з моменту його дисоціації при 200 °С у вакуумі. Ідуть процеси утворення летучих фторидів металу:  $2NH_4F = N_2 + 3H_2 + 2HF$  та відновлення оксидів воднем:  $mMe_{n/m}O_{2/m} + xHF = cMe_{n/c}Fe_{x/c} + x/cH_2O$ ;  $mMe_{n/m}O_{2/m} + 2H_2 = nMe + H_2O$ .

Розроблено спосіб зварювання [20], який полягає в тому, що у стик поміщається матеріал, який у результаті хімічної реакції з основним металом утворює газоподібні продукти й поверхня очищається від оксидів. Після видалення оксидів можна здійснювати процес зварювання. У роботі розглядається приклад видалення оксидних плівок хрому й титану з деталей за допомогою фтористого амонію (NH<sub>4</sub>F). Фтористий амоній відновлює плівки оксиду на Cr і Ti за 15 хвилин при 1100 °С.

*Механічний вплив.* У процесі пластичної деформації відбувається механічне пошкодження або руйнування оксидної плівки на металі. Тріщини в плівці й місця розриву полегшують вихід глибинних газів на поверхню, тобто інтенсивність очищення металу зростає. У роботі [18] прямими експериментами показане зростання газовиділення при

деформації сплавів ніобію або нікелю. Додаткове виділення газів на ніобієвому сплаві ( $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{N}_2$ ) пояснюється утворенням додаткових шляхів більш легкої дифузії газів. При деформації в металі виникають напруження, площини ковзання, нові границі й блоки, руйнується поверхнева оксидна плівка. Зі збільшенням ступеня деформації при одній температурі нагрівання газовиділення зростає [18]. Процеси рекристалізації можуть вплинути на оксидну плівку. По-перше, при рекристалізації прискорюються процеси пластичної деформації й дифузійна рухливість атомів, а по-друге, може відбуватися виламування плівки зростаючим кристалом [21; 22].

Фізичний стан є фактором, що впливає на зварюваність у твердому стані у вакуумі. Тому поряд зі знанням того, що ж відбувається з оксидами в контакті, необхідно знати й ті зміни в поверхневому шарі металу, які відбуваються у процесі випаровування самого металу або легуючих елементів, а також урахувати небезпеку забруднення поверхні продуктами реакцій та залишковими газами.

*Випаровування металів і сплавів.* Найбільшу випаровуваність мають хром, марганець, нікель, кобальт, а найменшу – титан, мідь, цирконій, алюміній тощо [7; 12]. У вакуумі при температурі 1200 °С швидкість випаровування (оцінка по зменшенню ваги) збільшується для ряду деяких металів у такій послідовності: W, Mo, Pd, Ni, Fe, Cu [23]. Також у роботі [23] представлені результати дослідження складу поверхні хромомарганцевої і хромонікельмолібденової сталі після різних витримок ( $5 \div 120$  хв) в інтервалі температур від 700 до 1200 °С при вакуумі порядку  $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па. Спектроаналітичне обстеження поверхні показало, що загальна глибина поверхневого шару, що брав участь у сублімації, досягає  $0,3 \div 0,4$  мм.

Відомо, що випаровування твердих тіл є ступінчастим процесом. Спочатку атоми металу переходять в адсорбований на поверхні шар, а потім випаровуються після деякого блукання по поверхні. Ріст чисельності поверхневих дефектів і перерозподіл легуючих елементів у процесі пластичної деформації сприяє збільшенню швидкості випаровування. Наявність поверхневих дефектів полегшує перехід атомів в адсорбований стан і зменшує роботу випаровування елементів [13].

Слід зазначити, що тривала витримка у вакуумі при високій температурі обумовлює появу своєрідного мікрорельєфу на поверхні металу. Нерівна терасоподібна поверхня з висотою сходів до  $10^{-4}$  мм, ямки й канавки термічного травлення є наслідком вибіркового випаровування металу й протікання процесів поверхневої дифузії [13]. Термічне травлення має місце переважно з областей з найбільшими викривленнями кристалічних ґраток і підвищеної вільної енергії (границі зерна, місця виходу дислокацій).

*Поглинання газів.* Склад газової фази при вакуумі  $1,33 \cdot 10^{-3}$ – $1,33 \cdot 10^{-1}$  Па різко відрізняється від розрахункового, який відповідає прийнятому ступеню розрядження. У робочій вакуумній камері при зазначеному розрядженні міститься  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$  (метан). При нагріванні метан взаємодіє із цими залишковими газами, наприклад, метан розкладається на гарячому ніобії за реакцією  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$  і обумовлює насичення поверхні вуглецем [11]. У такий спосіб навіть вакуум  $1,33 \cdot 10^{-3}$  Па не є нейтральним середовищем при нагріванні, особливо таких хімічноактивних металів, як ніобій, молібден, титан тощо.

Можна вважати доведеним необхідність застосування максимально можливого розрядження, якщо температура нагрівання перевищує  $0,4 T_{\text{пл}}$ . Відзначимо, що дані спектроскопії свідчать про те, що на поверхнях свіжого зламу вуглець і кисень можуть бути присутніми навіть у надвисокому вакуумі  $1,33 \cdot 10^{-7}$  Па [24].

При низьких тисках і високих температурах поглинання газів металами визначається трьома процесами: хемосорбцією газу на поверхні металу і його наступною дифузією в глиб зразка, а також десорбцією газу з поверхні металу в газову фазу. Поглинання газів супроводжується окисненням поверхні металів, наприклад, на ніобії у вакуумі утворюються продукти окислення у вигляді окремих ізольованих ділянок на поверхні [11].

У роботі [25] стверджується, що зазор між деталями, які при зварюванні тиском перед нагріванням попередньо стискаються на повітрі, можна розглядати як суму герметичних мікрооб'ємів, що заповнені повітрям. У період нагрівання в цих мікрооб'ємах відбуваються процеси самоочищення від оксидних плівок і утворення вакууму, а процеси автовакуумного зварювання тиском, гарячої прокатки герметичних пакетів, пресового зварювання, дифузійного зварювання у вакуумі та контактного зварювання характеризуються спільністю фізико-хімічних процесів, які протікають у герметичному зазорі.

У світлі вищевикладеного становить інтерес результат досліджень попередньо окислених зразків зі сталі Ст3 і сталі 12Х18Н10Т [26]. Встановлено, що на затиснутих поверхнях спостерігається різке зниження швидкості очищення, а вільна поверхня металу очищається більш інтенсивно, коли вона контактує з газовою фазою (вакуумом). На сталі Ст3 плівка товщиною 50-60 нм при 900 °С видаляється за 5...10 хвилин одночасно як на затиснутих, так і на вільних поверхнях. На сталі 12Х18Н10Т товсту оксидну плівку на затиснутих поверхнях вилучити при нагріванні до 1000 °С не вдалося, а на вільній поверхні товщина плівки зменшилась. Тобто істотне значення має відновлення оксидів за рахунок їх взаємодії з елементами-відновлювачами, що є в газовій фазі. Відзначимо, що наявність цих елементів у вакуумі залежить від глибини вакууму, величини натікання у вакуумну камеру, інтенсивності газовиділення.

Імовірно, для кожного металу й сплаву є характерна величина вакууму й натікання, обумовлені фізико-хімічними властивостями матеріалів, що зварюються, і температурою нагрівання. У такий спосіб ми можемо зробити висновок, що при нагріванні металу у вакуумі він може як очищатися від оксидів, так і окислюватися одночасно.

На підставі зробленого аналізу літератури можна зазначити, що під час нагрівання металу у вакуумі на його поверхні відбувається комплекс поверхневих фізико-хімічних процесів, які взаємозалежні й можуть привести не тільки до очищення поверхні від оксидів, але й до істотної зміни механічних і фізико-хімічних властивостей тонкого поверхневого шару металу. У табл. 3 на підставі викладеного матеріалу наведені основні відомості, які можуть надати істотну допомогу при розробці технології зварювання у твердій фазі у вакуумі  $1,33 \cdot 10^{-4}$ - $1,33 \cdot 10^{-2}$  Па, з температурою зварювання вище  $0,4T_{пл}$ .

Аналізуючи відомості, наведені в табл. 3, можна зробити висновок, що у процесі зварювання як однорідних, так і різнорідних металів необхідно враховувати процеси, що протікають у поверхневому шарі металу при його нагріванні у вакуумі. У випадку зварювання різнорідних металів слід визначати параметри нагрівання не тільки з погляду появи крихких фаз у зоні контакту, але й з позицій оптимального очищення поверхні від оксидів. При виборі проміжних прошарків необхідно також враховувати не тільки діаграму стану металів, що зварюються, але й той вплив, який матеріал прошарку може виявити на інтенсивність очищення поверхні контакту основного металу від оксидів.

Таблиця 3

*Можливі процеси очищення металів від оксидів при нагріванні у вакуумі*

Метал	Основне газовиділення $T=(0,4-0,7)T_{пл}$	Можливі процеси очищення металу від оксидів у вакуумі при нагріванні
Fe, Ст3	CO	Дисоціація, відновлення вуглецем
Ni	CO	Дисоціація, сублімація, відновлення вуглецем і воднем
Cu	-	Дисоціація, відновлення воднем
Cr	-	Відновлення воднем і вуглецем
Mn	-	Відновлення вуглецем
V	CO	Сублімація, розчинення, відновлення вуглецем
Mo	CO	Дисоціація, сублімація, відновлення вуглецем і воднем
W	CO	Дисоціація, сублімація, відновлення вуглецем і воднем
Ti, Zr, Nb	H <sub>2</sub>	Розчинення, відновлення вуглецем
Pd	H <sub>2</sub>	Дисоціація, сублімація, відновлення воднем
X19H10T	N <sub>2</sub>	Відновлення вуглецем і воднем

Таким чином, стосовно зварювання у твердій фазі різних металів і сплавів можна запропонувати п'ять підходів до розробки технологій з використанням поверхневих фізико-хімічних процесів для забезпечення утворення якісного нероз'ємного з'єднання:

- гальванічне покриття матеріалом, який не утворює термодинамічно стійких оксидів, нітридів й карбідів на поверхні та сприяє процесам очищення основного металу від оксидів;
- застосування проміжних прошарків, матеріал яких дозволяє інтенсифікувати очищення від оксидів основного металу;
- застосування штучних методів відновлення оксидних плівок;
- скорочення до мінімуму часу від обробки поверхні металу до моменту зварювання й зварювання у граничному для цієї системи вакуумі;
- використання попереднього підігріву деталей, що зварюються, у розведеному стані для прискорення процесу відновлення оксидних плівок та сублімації одного з матеріалів з наступною конденсацією на поверхню іншого.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У роботах [27; 28] встановлено, що при дифузійному зварюванні у вакуумі (ДЗВ) міді з хромом та титаном міцність зварних з'єднань, отриманих із застосуванням сублімованих прошарків міді (пара мідь-хром) та титану (пара мідь-титан), на 15...20 % більше міцності з'єднань, зварених безпосередньо напругу. Однак у роботах не досліджено можливість використання поверхневих фізико-хімічних процесів для прецизійного зварювання тиском. Крім того, умови проведення експерименту, коли спочатку створювали проміжні шари міді, а потім проводили зварювання, не дозволили повною мірою оцінити ефективність використання сублімованих прошарків, у зв'язку з тим, що сублімовані прошарки при цьому встигають окислитись.

Тому **метою** нашої роботи було дослідження впливу поверхневих фізико-хімічних процесів (самоочищення від оксидних плівок, сублімація та конденсація) на здатність до прецизійного зварювання тиском у вакуумі різнорідних металів.

**Викладення основного матеріалу.** У роботах [27; 28] зазначено, що у разі нагрівання у вакуумі негерметичних об'ємів, час, необхідний для утворення сублімованих прошарків, становить 1-3 хвилини незалежно від природи іншого металу, що значно менше, ніж час, необхідний для утворення таких прошарків при нагріві герметичних об'ємів.

Отже, нами був запропоновано новий спосіб дифузійного зварювання у вакуумі через тонкі сублімовані прошарки, що здійснюється за схемою, зображеною на рис. 1. Зварні деталі 2 встановлюються та фіксуються за допомогою спеціальної оснастки 4 таким чином, щоб зазор між поверхнями становив 0,5...1 мм. Після герметизації та створення розрідження у робочій камері 1, зібраний вузол нагрівачем 3 нагрівається до температури сублімації одного із матеріалів, що зварюється і після витримки протягом 1-5 хвилин, яка необхідна для прогріву заготовок і проходження процесу сублімації та конденсації з утворенням тонкого проміжного прошарку, прикладається зусилля зварювання і проводиться дифузійне зварювання. Після зварювання з'єднання охолоджують та виймають із камери. У випадку, коли температура зварювання менше температури сублімації матеріалу, то зусилля зварювання прикладають після зменшення температури до необхідної межі. Представлена схема дозволяє здійснювати дифузійне зварювання через тонкі проміжні прошарки за один цикл в одній робочій камері.



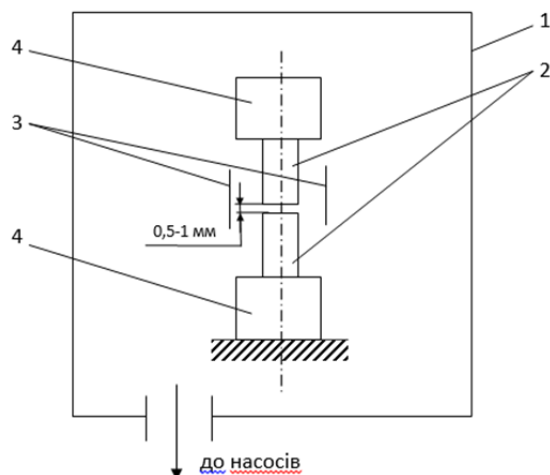


Рис. 1. Схема ДЗВ різнорідних металів через сублимовані прошарки:

1 – вакуумна камера; 2 – деталі, що зварюються; 3 – нагрівач; 4 – верхній та нижній штовхачі

Для реалізації представленої схеми зварювання була розроблена спеціалізована оснастка, що дозволяє проводити попереднє нагрівання заготовок, що зварюються, у розведеному стані з наступним прикладанням зусилля зварювання та розроблена нова технологія ДЗВ міді з тугоплавкими металами та титаном, яка передбачає:

- збирання заготовок, що зварюються, у вакуумній камері з використанням спеціальної оснастки;
- нагрів заготовок у розведеному стані для створення сублимаційних прошарків;
- процес дифузійного зварювання на режимах: *мідь-тугоплавкі метали (молібден, хром):*  $T_{зв} = 950 \dots 970$  °С, час витримки при температурі зварювання до прикладання зусилля – 1...2 хвилини;  $t_{зв} = 10$  хвилин; тиск зварювання 1-2 МПа; *мідь-титан:*  $T_{зв} = 850$  °С, час витримки при температурі зварювання до прикладання зусилля – 1...2 хвилини;  $t_{зв} = 10$  хвилин; тиск зварювання 2-3 МПа.

Тиск зварювання був попередньо визначений з метою мінімізації пластичної деформації. Необхідно зауважити, що з врахуванням розміру сублимованих частинок (товщини конденсованого прошарку) порядку 2 мкм, поверхні перед зварюванням полірували до 7-го класу шорсткості (параметри шорсткості визначали за допомогою профілографа-профілометра).

Характерний вид зварних з'єднань, отриманих на вказаних режимах, представлено на рис. 2. Встановлено, що деформація основних матеріалів при зварюванні на вказаних режимах не перевищує 1 %, що відповідає вимогам прецизійності. Механічні випробування на зріз показали, що міцність зварних з'єднань міді з молібденом та хромом при цьому досягає 95...100 МПа, що складає 85...90 % від міцності основного матеріалу (міді). Міцність з'єднань міді з титаном становить 80–85 МПа, або 73...77 % міцності міді (110 МПа).

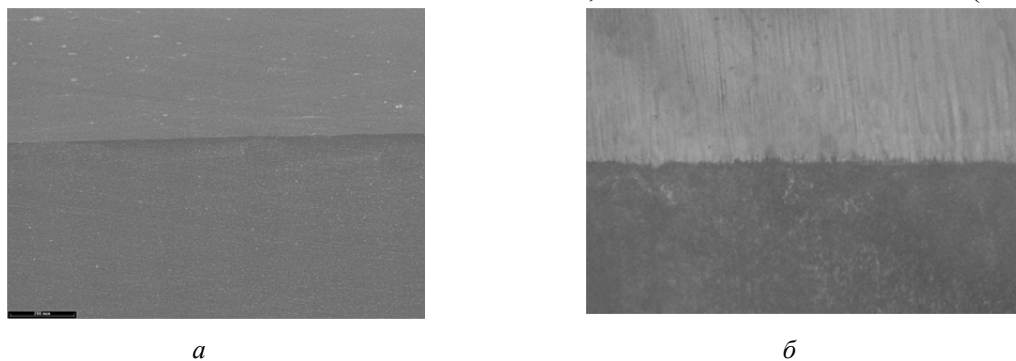


Рис. 2. Мікроструктура зони з'єднання мідь-молібден (а) (растрова електронна мікроскопія); мідь-титан (б) (оптична мікроскопія) (x100).

Таким чином, літературний аналіз можливих поверхневих фізико-хімічних процесів при зварюванні тиском різних однорідних та різнорідних матеріалів, а також отримані експериментальні дані щодо використання таких процесів як засіб активації поверхонь, дозволяє нам запропонувати модель формування нероз'ємних з'єднань при зварюванні у твердій фазі за розробленою технологією за рахунок проходження таких стадій: 1 – самоочищення поверхні від оксидних плівок на стадії попереднього нагрівання заготовок у вакуумі у розведеному стані (внаслідок дисоціації, відновлення та розчинення оксидів); 2 – сублімація одного з матеріалів з наступною конденсацією на поверхні іншого; 3 – утворення на стадії осадки хімічних зв'язків та формування зони об'ємної взаємодії (рис. 3).

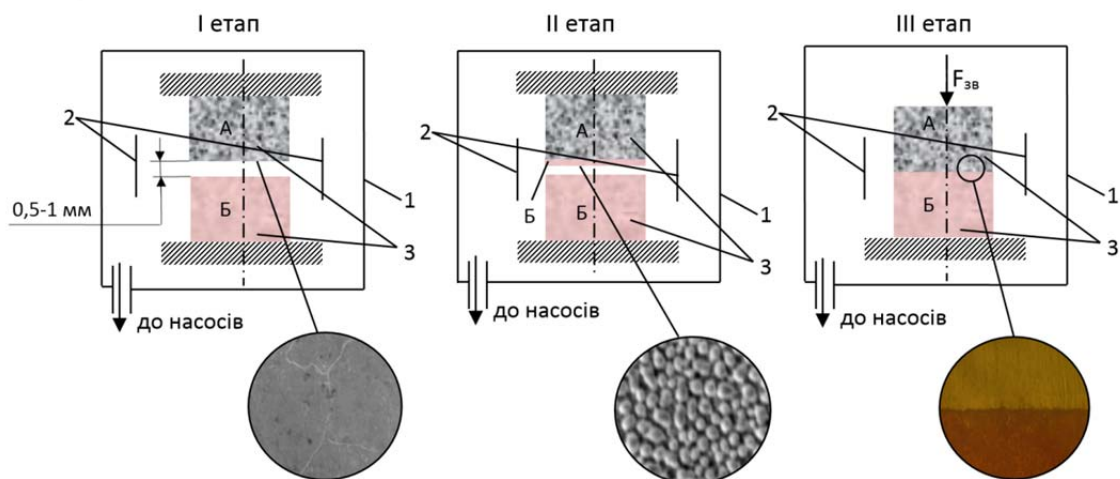


Рис. 3. Стадії формування нероз'ємних з'єднань при зварюванні тиском у твердій фазі з використанням поверхневих фізико-хімічних процесів: 1 – вакуумна камера; 2 – нагрівач; 3 – деталі, що зварюються

### Висновки.

1. Запропоновано новий спосіб дифузійного зварювання у вакуумі через тонкі сублімовані активні прошарки.
2. Розроблено новий технологічний процес ДЗВ міді з тугоплавкими металами та титаном з використанням спеціалізованої оснастки, яка дозволяє здійснювати дифузійне зварювання через сублімовані прошарки за один цикл в одній робочій камері.
3. Запропоновано модель формування нероз'ємних з'єднань при зварюванні тиском у твердій фазі з використанням поверхневих фізико-хімічних процесів.

### Список використаних джерел

1. Кочергин К. А. Сварка давлением / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1972. – 216 с.
2. Окисление металлов / под ред. Ж. Бенара ; пер. с французского. – М. : Metallurgia, 1967. – Т. 1. – 499 с.
3. Стычинский В. Б. Предупреждение образования окалины и методы очистки деталей / В. Б. Стычинский, С. Д. Бешелев. – М. : Машиностроение, 1964. – 132 с.
4. Савицкий Е. М. Металловедение сплавов тугоплавких металлов / Е. М. Савицкий, Г. С. Бурханов. – М. : Наука, 1971. – 356 с.
5. Гуляев Б. Б. Литье из тугоплавких металлов / Б. Б. Гуляев, О. Н. Магницкий, А. А. Демидов. – М.-Л. : Машиностроение, 1964. – 192 с.
6. Квасницкий В. Ф. О возгонке поверхностных пленок при соединении жаропрочных сплавов в твердом состоянии в вакууме / В. Ф. Квасницкий // Труды НКИ им. С. О. Макарова. – 1971. – Вып. 45. Технология судостроения и сварочного производства в судостроении.
7. Шмыков А. А. Закономерности взаимодействия контролируемых атмосфер с металлами / А. А. Шмыков // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1967. – № 5. – С. 54–65.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Шмыков А. А. Термодинамика и кинетика процессов взаимодействия контролируемых атмосфер с поверхностью стали / А. А. Шмыков, В. Г. Хорошайлов, Е. Л. Гюлиханданов. – М. : Metallurgiya, 1991. – 160 с.
9. Взаимодействие марганца, хрома и титана с воздухом в условиях автовакуумного нагрева при пайке / В. И. Рымарь, С. Н. Лоцманов, В. М. Радзиевский, В. Ю. Чернов // Сварочное производство. – 1973. – № 11. – С. 6–8.
10. Слепуха В. Т. Образование поверхностей, свободных от оксидных пленок при диффузной сварке в вакууме / В. Т. Слепуха // Сварочное производство. – 1965. – № 5. – С. 30–40.
11. Соколова Г. В. Взаимодействие ниобия с газами при высоких температурах и низких давлениях (обзор литературы) / Г. В. Соколова, С. Ф. Юрьев // Металловедение. – 1970. – № 14.
12. Куликов И. С. Термическая диссоциация соединений / И. С. Куликов. – М. : Metallurgiya, 1966. – 250 с.
13. Испарение и металлические свойства металлических материалов в вакууме (обзор литературы) / Н. Н. Грибов, Ю. И. Звездин, А. И. Мелькер, С. С. Шураков, В. А. Яковлев // Металловедение. – 1964. – № 8.
14. Дэшман С. Научные основы вакуумной техники : пер. с англ. / С. Дэшман. – М. : Мир, 1964. – 715 с.
15. Масс-спектрометрический анализ газов при прокате в вакууме / Н. А. Аникеев, Я. Б. Гуревич и др. // Известия Вузов. Черная металлургия. – 1969. – № 7. – С. 61–67.
16. Коллинз Д. Термическое обезгаживание электровакуумных материалов / Д. Коллинз, К. Тернбалл // Техника электронных ламп : материалы V Национальной конференции по технике электронных ламп. – М. : Изд-во иностр. лит., 1963. – С. 178–183.
17. Гельман А. С. О взаимодействии сталей с газами в условиях автовакуумного нагрева при сварке / А. С. Гельман, М. С. Барышев // Сварочное производство. – 1971. – № 5. – С. 9–11.
18. О кинетике выделения газов при прокатке в вакуум / Н. А. Аникеев, Я. Б. Гуревич и др. // Физика и химия обработки материалов. – 1970. – № 12. – С. 52–61.
19. Скибина Г. В. Исследование газоотделения нержавеющей сталей в динамическом высоком вакууме : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Г. В. Скибина ; МВТУ им. Н. Е. Баумана. – М., 1970.
20. Норман С. Усовершенствования в области сварки металлов. Английский Патент, кл. 83(ч). В23к, № 919031 (РЖМЕТ, № 11, 1963, 11Е327П).
21. Семенов А. П. Схватывание металлов / А. П. Семенов. – М. : Машгиз, 1958. – 280 с.
22. Вадило П. С. Кристаллизация металлов / П. С. Вадило. – М. : Metallurgiya, 1964. – 183 с.
23. Борисов А. Я. Исследование испаряемости нержавеющей сталей и никелевых жаропрочных сплавов в вакууме при высоких температурах / А. Я. Борисов, Г. В. Ильина, Ю. В. Соломко // Металловедение. – 1965. – № 9. – С. 124–131.
24. Methods for diffusion welding the superalloy Udimet 700 / Duvall D. S., Owszarski W. A., Paulonis D. F., King W. H. // Welding Journal». – 1972. – Issue 51, № 2. – Pp. 41–49.
25. Самоочистка от оксидов стыкуемых поверхностей при сварке в твердой фазе с нагревом / С. И. Кучук-Яценко, Г. К. Харченко, Ю. В. Фальченко и др. // Автоматическая сварка. – 1998. – № 2. – С. 16–23.
26. Гельман А. С. Основы сварки давлением / А. С. Гельман. – М. : Машиностроение, 1970. – 312 с.
27. Дослідження впливу сублімаційних процесів в стику на якість зварних хром-мідних з'єднань / Г. К. Харченко, О. О. Новомлинець, Д. М. Демиденко, Ю. В. Фальченко // Вісник ЧДТУ. – 2005. – № 22. – С. 91–93.
28. Falchenko Y. Diffusion welding of titanium with copper using surface physical and chemical processes / Falchenko Y., Novomlynets O. // Collection of Scientific Papers: Information, Technologies, Management and Society. – Riga, Latvia, 2015. – № 4 (12). – Pp. 184–191.

## References

1. Kochergin, K. A. (1972). *Svarka davleniem [Pressure welding]*. Lviv: Mashinostroenie (in Russian).
2. Benar, Zh. (ed.) (1967). *Okislenie metallov [Metals oxidation]*. Vol. 1. Translated from French. Moscow: Metallurgiya (in Russian).

3. Stychinskii, V. B. & Beshelev, S. D. (1964). *Preduprezhdenie obrazovaniia okaliny i metody ochistki detalei* [Prevention of scale formation and methods of parts cleaning]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
4. Savickii, E. M. & Burhanov, G. S. (1971). *Metallovedenie splavov tugoplavkikh metallov* [Metal science of refractory metals alloys]. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Guliaev, B. B., Magnitskii, O. N., Demidov, A. A. (1964). *Lite iz tugoplavkikh metallov* [Casting of refractory metals]. Moscow-Lviv: Mashinostroenie (in Russian).
6. Kvasnitskii, V.F. (1971). O vozgonke poverkhnostnykh plenok pri soedinenii zharoprochnykh splavov v tverdom sostoianii v vakuume [About the sublimation of surface films during the joining of high-temperature alloys in the solid state in a vacuum]. *Tekhnologiya sudostroeniia i svarochnogo proizvodstva v sudostroenii* – Shipbuilding technology and welding production in shipbuilding, issue 45 (in Russian).
7. Shmykov, A. A. (1967). Zakonomernosti vzaimodeistviia kontroliruemyykh atmosfer s metallami [The regularities of the interaction of controlled atmospheres with metals]. *Metallovedenie i termicheskaya obrabotka metallov* – Metal science and heat treatment of metals, no. 5, pp. 54–65 (in Russian).
8. Shmykov, A.A., Khoroshailov, V.G., Giulikhandanov, E.L. (1991). *Termodinamika i kinetika processov vzaimodeistviia kontroliruemyykh atmosfer s poverkhnostiu stali* [Thermodynamics and kinetics of processes of interaction of controlled atmospheres with the surface of the steel]. Moscow: Metallurgiya (in Russian).
9. Rymar, V.I., Lotsmanov, S.N., Radzievskii, V.M., Chernov, V.Ju. (1973). Vzaimodeistvie margantsa, khroma i titana s vozduhom v usloviakh avtovakuumnogo nagreva pri paice [The interaction of manganese, chromium and titanium with air under conditions of autovacuum heating during the brazing process]. *Svarochnoe proizvodstvo* – Welding production, no. 11, pp. 6–8 (in Russian).
10. Slepukha, V. T. (1965). Obrazovanie poverkhnostei, svobodnykh ot oksidnykh plenok pri diffuzionnoi svarke v vakuume [The formation of surfaces free of oxide films during vacuum diffusion welding]. *Svarochnoe proizvodstvo* – Welding production, no. 5, pp. 30–40 (in Russian).
11. Sokolova, G.V. & Iurev, S.F. (1970). Vzaimodeistvie niobiia s gazami pri vysokikh temperaturakh i nizkikh davleniyakh (obzor literatury) [Interaction of niobium with gases at high temperatures and low pressures (literature review)]. *Metallovedenie* – Metal science, no. 14. Lviv: Sudostroenie (in Russian).
12. Kulikov, I.S. (1966). *Termicheskaya dissotsiatsiya soedinenii* [Thermal dissociation of compounds]. Moscow: Metallurgiya (in Russian).
13. Gribov, N.N., Zvezdin, Iu.I., Melker, A.I., Shurakov, S.S., Jakovlev, V.A. (1964). Isparenie i metalicheskie svoystva metallicheskiykh materialov v vakuume (obzor literatury) sb. [Evaporation and metal properties of metal materials in vacuum (literature review)]. *Metallovedenie* – Metal science, no. 8. Lviv: Sudostroenie (in Russian).
14. Deshman, S. (1964). *Nauchnye osnovy vakuumnoi tekhniki* [Scientific basis of vacuum technology] (translated from English). Moscow: Mir (in Russian).
15. Anikeev, N. A., Gurevich, Ja. B. et al. (1969). Mass-spektrometricheskii analiz gazov pri prokate v vakuume [Mass-spectrometric analysis of the gases during the rolling at vacuum]. *Izvestiya Vuzov. Chernaya metallurgiya* – News of Universities. Ferrous metallurgy, no. 7, pp. 61–67 (in Russian).
16. Kollinz, D., Ternball, K. (1963). Termicheskoe obezgazhivanie elektrovakuumnykh materialov [Thermal degassing of electrovacuum materials]. Proceedings from *Tekhnika elektronnykh lamp: sbornik materialov V Natsionalnoi konferentsii po tekhnike elektronnykh lamp* – The technique of electron tubes: Conference proceedings of the 5 th National conference of electron tubes technique. Moscow: Izd-vo inostr. lit., pp. 178–183 (in Russian).
17. Gelman, A.C. & Baryshev, M.S. (1971). O vzaimodeistvii stali s gazami v usloviakh avtovakuumnogo nagreva pri svarke [About the interaction of steels with gases in the conditions of autovacuum heating during the welding]. *Svarochnoe proizvodstvo* – Welding production, no. 5, pp. 9–11 (in Russian).
18. Anikeev, N. A., Gurevich, Ia. B. et al. (1970) O kinetike vydeleniya gazov pri prokatke v vakuume [About the kinetics of gases at rolling in vacuum]. *Fizika i khimiya obrabotki materialov* – Physics and chemistry of materials processing, no. 12, pp. 52–61 (in Russian).
19. Skibina, G.V. (1970). Issledovanie gazootdeleniya nerzhavayushchikh stali v dinamicheskom vysokom vakuume [The investigation of gas liberation of stainless steels in dynamic high vacuum]. *Extended abstract*. Moscow: MVTU (in Russian).

20. Norman, S. (1963). *Usovershenstvovaniia v oblasti svarki metallov [The improvements in the field of metals welding]*. Patent № 919031.
21. Semenov, A.P. (1958). *Skhvatyvanie metallov [Metals seizure]*. Moscow: Mashgiz (in Russian).
22. Vadilo, P.S. (1964). *Kristallizatsiia metallov [Metals crystallization]*. Moscow: Metallurgiya (in Russian).
23. Borisov, A.Ia., Ilina, G.V., Solomko, Iu.V. (1965). Issledovanie ispariaemosti nerzhaveiushchikh stalei i nikelovykh zharoprochnykh splavov v vakuumе pri vysokikh temperaturakh [The investigation of the evaporability of stainless steels and Nickel heat-resistant alloys in vacuum at high temperatures]. *Metallovedenie – Metal science*, no. 9, pp. 124–131 (in Russian).
24. Duvall, D. S., Owszarski, W. A., Paulonis, D. F., King, W. H. (1972). Methods for diffusion welding the superalloy Udimet 700. *Welding Journal*, issue 51, no. 2, pp. 41–49.
25. Kuchuk-Jacenko, S.I., Harchenko, G.K., Falchenko, Ju.V. et al. (1998). Samoochistka ot oksidov stykuemykh poverhnostej pri svarke v tverdoj faze s nagrevom [Self-cleaning of oxides from the joining surfaces during the solid phase welding with heating]. *Avtomaticheskaia svarka – Automatic welding*, no. 2, pp. 16–23 (in Russian).
26. Gelman, A. S. (1970). *Osnovy svarki davleniem [The basics of pressure welding]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
27. Kharchenko, H.K., Novomlynets, O.O., Demydenko, D.M., Falchenko, Iu.V. (2005). Doslidzhennia vplyvu sublimatsiinykh protsesiv v styku na yakist zvarnykh khrom-midnykh ziednan [The investigation of the influence of sublimation processes in the joint on the quality of chromium-copper welded joints]. *Visnyk ChDTU – Herald of ChDTU*, no. 22, pp. 91–93 (in Ukrainian).
28. Falchenko, Y. & Novomlynets, O. (2015). Diffusion welding of titanium with copper using surface physical and chemical processes. *Collection of Scientific Papers: Information, Technologies, Management and Society*. Riga, Latvia, no. 4 (12), pp. 184–191.

UDC 621.791.4

*Iurii Falchenko, Oleg Novomlynets, Lidiia Petrushynets, Iryna Nahorna*

## BASIC USAGE OF SURFACE PHYSICAL-CHEMICAL PROCESSES FOR PRECISION PRESSURE WELDING

**Urgency of the research.** The usage of surface physical-chemical processes is the perspective activation method for precision joining of metal materials.

**Target setting.** The modern theory of solid-phase joining concerning to the usage of surface processes cannot fully determine the direct criteria of welding technology with a minimum level of plastic deformation.

**Actual scientific researches and issues analysis.** During the solid-phase welding of various metals and alloys, the usage of preheating of the welded parts in separated state may speed up the recovery process of oxide films and sublimation of one of the materials with subsequent condensation onto the surface of another.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The usage of sublimated layers during the welding of dissimilar materials allows obtaining strength by 15–20 % higher than the strength of joints that welded directly. However, the works have not investigated the possibility of using such layers for precision pressure welding.

**The research objective.** The investigation of the influence of surface physical-chemical processes (self-cleaning of the oxide films, sublimation and condensation) on the ability to precision pressure welding of dissimilar metals in vacuum.

**The statement of basic materials.** The ability of precision pressure welding of copper with molybdenum and chrome through the sublimated copper layer was investigated. The precision weldability of copper and titanium through the sublimated titanium layer was also researched.

**Conclusions.** It was established that the deformation of the basic materials during the welding does not exceed 1 %, and the strength of welded joints of copper with molybdenum and chromium amounts to 85–90 % of the strength of the basic material (copper). The strength of the copper - titanium welded joints amounts to 73–77 % of the strength of copper.

A new method of vacuum diffusion welding through the thin sublimated active layers was proposed. A new technological process of vacuum diffusion welding of copper with refractory metals and titanium was developed. Such technological process demands of specialized equipment that allows carrying out of diffusion welding through the sublimated layers in one cycle in the same working chamber.

The model of formation of permanent joints during solid-phase pressure welding using surface physical-chemical processes was proposed.

**Key words:** vacuum diffusion welding; surface physical-chemical processes; sublimated layers; precision welded joints.

Tabl.: 3. Fig.: 3. Bibl.: 28.

УДК 621.791.4

Юрій Фальченко, Олег Новомлинець, Лідія Петрушинець, Ірина Нагорная

**ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОЙ СВАРКИ ДАВЛЕНИЕМ**

В работе исследована возможность получения прецизионных неразъемных соединений разных однородных и разнородных металлических материалов с использованием поверхностных физико-химических процессов. На основании анализа литературных данных относительно возможных поверхностных физико-химических процессов при сварке в твердой фазе предложено новый технологический процесс сварки давлением, который предусматривает предварительный нагрев заготовок в разбавленном состоянии для создания сублимированных прослоек. Определены оптимальные режимы для прецизионной диффузионной сварки в вакууме меди с тугоплавкими материалами и титаном.

**Ключевые слова:** диффузионная сварка в вакууме; поверхностные физико-химические процессы; сублимированные прослойки; прецизионные неразъемные соединения.

Табл.: 3. Рис.: 3. Библ.: 28.

**Фальченко Юрій В'ячеславович** – доктор технічних наук, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (вул. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

**Фальченко Юрий Вячеславович** – доктор технических наук, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

**Falchenko Iurii** – Doctor of Technical Sciences, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Malevich Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** falchenko@paton.kiev.ua

**Scopus Author ID:** 7801687476

**Новомлинець Олег Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, перший проректор, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Новомлинець Олег Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет, первый проректор, (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Novomlinets Oleg** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, First Vice-Rector, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oon1@ukr.net

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

**Scopus Author ID:** 6507741249

**Петрушинець Лідія Вячеславівна** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (вул. Малевича, 11, м. Київ, 03680, Україна).

**Петрушинець Лидия Вячеславовна** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины (ул. Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

**Petrushynets Lidiia** – PhD in Technical Sciences, Senior staff scientist, Paton Electric Welding Institute of NAS of Ukraine (11 Malevich Str., 03680 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** moremia2@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7946-3056>

**Нагорная Ирина Вячеславівна** – асистент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Нагорная Ирина Вячеславовна** – ассистент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Nahorna Iryna** – Assistant Lecturer of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** zavalnaya89@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5075-8712>

**Scopus Author ID:** 56939026500 (Zavalna, I. V.), 57192820279 (Nahorna, Iryna V)

Олег Новомлинець, Сергій Олексієнко,  
Світлана Ющенко, Євген Половецький

## ПРЕЦИЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ АЛЮМІНІЄВИХ СПЛАВІВ

**Актуальність теми дослідження.** Алюмінієві сплави широко застосовуються у конструкціях різних галузей індустрії, при виготовленні яких, крім забезпечення високої міцності нероз'ємних з'єднань у характерних вузлах, існує необхідність збереження їх проектної форми.

**Постановка проблеми.** Вирішення завдання прецизійного з'єднання алюмінієвих сплавів зварюванням тиском ускладнюється внаслідок їх високих термопластичних властивостей, тепло- та електропровідності, що потребує пошуку ефективних способів одержання виробів з низьким рівнем деформації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним із перспективних способів прецизійного з'єднання алюмінієвих сплавів є електроконтактне зварювання через проміжні прошарки з алюмінієвої фольги, використання яких сприяє локалізації теплової енергії в контактній деталі, що зварюється, та зменшенню рівня деформації виробу.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Недослідженим залишається процес тепловиділення у контактній деталі, що зварюється, при електроконтактному стиковому зварюванні алюмінієвих сплавів через прошарки.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка прецизійного електроконтактного стикового зварювання алюмінієвих сплавів.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження процесу тепловиділення здійснювали розрахунковим шляхом з використанням скінченно-елементного моделювання. З'єднання прутків з алюмінієвого сплаву АД31 проводили за схемою електроконтактного стикового зварювання опором через проміжні прошарки з алюмінієвої фольги марки АД0 товщиною 11 мкм на режимі: густина струму 300 А/мм<sup>2</sup>, питомий тиск 8 МПа, час зварювання 0,5...0,7 с.

**Висновки.** Показано, що кількість теплоти, яка виділяється у стик при електроконтактному стиковому зварюванні, залежить від кількості шарів у проміжному прошарку. Встановлено, що при зварюванні алюмінієвого сплаву АД31 на запропонованому режимі через 6 шарів фольги алюмінію АД0 товщиною 11 мкм міцність зварних з'єднань досягає 95 % міцності основного металу при деформації до 2 %.

**Ключові слова:** прецизійне зварювання тиском; алюміній; електроконтактне зварювання; проміжний прошарок; локалізація тепловиділення; зварне з'єднання; міцність.

Табл.: 2. Рис.: 6. Бібл.: 12.

**Постановка проблеми.** Деформація виробів має вирішальне значення при зварюванні тиском. Вирішення завдання прецизійного з'єднання алюмінію та його сплавів зварюванням тиском ускладнюється через притаманні їм високі термопластичні властивості, тепло- та електропровідність. Тому пошук нових ефективних засобів для прецизійного зварювання тиском алюмінієвих сплавів є актуальним завданням для виготовлення виробів з низьким рівнем деформації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] розглянуто фізичні основи прецизійного зварювання тиском. Вказується, що зварне з'єднання з залишковою пластичною деформацією, що не перевищує 2 % від товщини (діаметра) деталі, можна назвати прецизійним, якщо виконується умова геометричної точності:

$$-1 \leq T \leq +1, \quad (1)$$

де  $T$  – безрозмірний критерій геометричної точності з'єднання, який визначається співвідношенням:

$$T = (\Delta_0 - \varepsilon_e \pm j) j, \quad (2)$$

де  $\Delta_0$  – відносна залишкова деформація (осадка або вдавненість) зварного з'єднання;  $\varepsilon_e$  – врахована у припуску заготовки відносна вимушена деформація, за якої завершується процес утворення зварного з'єднання;  $j$  – відносний допуск на номінальний розмір зварного з'єднання для цього класу точності його виготовлення.

Для того щоб виконувалася умова прецизійності (1), необхідна умова:

$$(\Delta_0 - \varepsilon_e) \rightarrow 0. \quad (3)$$

Відносну вимушену деформацію можна виразити у безрозмірній формі:

$$\varepsilon_e = \varepsilon_K K_y J_n C^{-1}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon_k$  – показник повного зближення приконтактних шорстких поверхонь, за якого щільність у контакті наближається до одиниці; практично для реальних поверхонь  $\varepsilon_k = 0,3 \dots 0,6$ ;  $K_y$  і  $C$  – відповідно показники зміцнення і напруження у шорсткому шарі контакту; для реальних умов  $K_y = 1 \dots 10$ ;  $C = 4,6 \dots 9,2$ ;  $L_n$  – показник локальності нагріву,  $L_n = 1 \dots 0,1$ .

Формула (4) дозволяє оцінювати вимушену деформацію з урахуванням крайових граничних умов при різних способах зварювання тиском [1].

Наприклад, при зварюванні тиском з загальним рівномірним нагріванням всієї деталі ( $L_n = 1$ ) і стисненні деталей без деформаційного зміцнення шорсткого шару в контакті ( $K_y \leq 1$ ), а також за умови  $\varepsilon_k = 0,5$  (механічна обробка поверхонь) і  $C = 5$  (повільне стиснення деталей):

$$\varepsilon_s = 0,5 \cdot 10 \cdot 1 / 5 = 0,1 (10 \%).$$

Якщо стиснення деталей проводять при кімнатній температурі ( $L_n = 1$ ) з максимальним зміцненням шорсткого шару в контакті, тобто при  $C = 10$ ;  $K_y = 10$ , то  $\varepsilon_s$  досягає свого максимального значення (холодне зварювання):

$$\varepsilon_s = 0,5 \cdot 10 \cdot 1 / 10 = 0,5 (50 \%)$$

Формула (3) показує, що локалізувати осадку деталей зварюванням тиском можна чотирма основними прийомами [1]:

- зменшенням деформаційного зміцнення шорсткого шару в контакті ( $K_y \rightarrow 1$ ) шляхом уповільненого стиснення деталей при високих температурах нагріву (контактне зварювання за способом А. М. Ігнат'єва, дифузійне зварювання у вакуумі, газопресове зварювання; у цих випадках  $\varepsilon_s < 8 \%$ );

- різким збільшенням напруженого стану в шорсткому шарі контакту ( $C \gg 10$ ) шляхом створення чисто контактного напруження (зварювання вибухом, зварювання імпульсом магнітної енергії; у цьому випадку  $\varepsilon_s \rightarrow 1 \%$ );

- створенням чистого контактного локального нагріву деталей;

- контактуванням деталей з критичною швидкістю деформування, за якої завдяки дії механізму порогової та непорогової (дифузійної) повзучості знеміцнення в шорсткому шарі матеріалу контакту переважає над його деформаційним зміцненням.

Таким чином, виходячи з цієї методики, нам видається можливим досягти ефекту прецизійності при зварюванні тиском шляхом зменшення об'єму розплавленого металу, зниження зусилля стиску та зростання температури у зоні контакту шляхом короткоімпульсного дозованого вкладення енергії.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Недослідженим залишається процес тепловиділення у контакті деталей, що зварюються, та його вплив на міцність і рівень деформації при електроконтактному стиковому зварюванні алюмінію та його сплавів через прошарки.

**Мета статті.** Метою цієї роботи є розробка прецизійного електроконтактного стикового зварювання алюмінієвих сплавів.

**Виклад основного матеріалу.** Необхідною умовою, що забезпечує утворення прецизійного з'єднання при електроконтактному зварюванні, є зосередження тепловиділення у приконтактній зоні з'єднання та збільшення опору в контакті деталей. Саме контактний опір між деталями є ключовим фактором у нагріві деталей при електроконтактному зварюванні, оскільки залежить від стану поверхні та зварювального тиску й у 2–3 рази перевищує опір самих деталей [2].

Ефективним засобом інтенсифікації процесу тепловиділення у контакті деталей і, відповідно, зменшення деформації виробів, при електроконтактному зварюванні алюмінію та його сплавів є використання тонких проміжних прошарків з матеріалу, що має високий електричний опір та близький до основного металу хімічний склад [3; 4].



Розміщення такого прошарку з декількох шарів фольги дозволяє зосередити тепло-виділення у зоні з'єднання внаслідок утворення між прошарком та деталями більшої кількості контактних опорів, на яких локалізується виділення теплової енергії значної величини при проходженні електричного струму. Це дозволяє збільшити контактний опір, температуру в контакті деталь–деталь, зменшити час нагріву та рівень залишкових деформацій за рахунок зниження об'єму розплавленого металу та утворення зв'язків між матеріалом проміжного шару й основним металом.

Електроконтактне зварювання ґрунтується на використанні джоулевого тепла. Загальна кількість теплоти, що виділяється електричним струмом у провіднику, визначається за законом Джоуля-Ленца, Дж [2; 5]:

$$Q = I^2 R t, \quad (5)$$

де  $R$  – омичний опір провідника;  $I$  – струм;  $t$  – час.

Загальний опір зварювального ланцюга при електроконтактному зварюванні складається із опору  $R_d$  ділянок основного металу, що нагріваються, опору контакту між деталями  $R_k$  та опору контакту між електродом і деталлю  $R_{ed}$ , Ом [2; 5]:

$$R = 2R_d + R_k + 2R_{ed}. \quad (6)$$

При стиковому зварюванні контактний опір між електродом та деталями відносно низький і практично не впливає на нагрів зони з'єднання [5].

Власний опір деталей визначається за формулою, Ом [2; 5]:

$$2R_d = \frac{2\rho_0 l_0}{S}, \quad (7)$$

де  $\rho_0$  – питомий електричний опір металу;  $2l_0$  – установочна довжина деталей;  $S$  – площа поперечного перерізу деталей.

Теоретично встановлена та експериментально підтверджена залежність між тиском, прикладеним до контакту, та його електричним опором [6]:

$$R_k = \frac{r_k}{P^\alpha}, \quad (8)$$

де  $P$  – зусилля, що діє в контакті, кг;  $r_k$  – одиничний контактний опір при зусиллі  $P = 1$  кг;  $\alpha$  – експериментальний коефіцієнт, змінюється у межах 0,5...1,0.

Одиничний опір  $r_k$  залежить від марки металу і стану його поверхні, та, як правило, зменшується для м'яких металів та матеріалів з високою теплопровідністю. Для алюмінієвих сплавів  $r_k$  змінюється в межах 0,001...0,002 Ом, а коефіцієнт  $\alpha$  від 0,75 до 0,85 [6].

Кількість теплоти, що виділяється в контакті між деталями за секунду під час стикового зварювання, визначається за формулою [7]:

$$q = m_1 \cdot I^2 R_k, \quad (9)$$

де  $m_1$  – коефіцієнт, що враховує зміну контактного опору у процесі нагріву контакту,  $m_1 \approx 0,4$ .

Для дослідження процесу тепловиділення у зоні контакту при електроконтактному стиковому зварюванні (ЕКСЗ) опором алюмінієвого сплаву марки АД31 через проміжний прошарок з алюмінієвої фольги АД0 було проведено розрахунок кількості теплової енергії, що виділяється на контактному опорі та в об'ємі деталей. Вхідні дані для розрахунку наведено у табл. 1.

Таблиця 1

*Вхідні дані для розрахунку теплової енергії, що виділяється у стику при ЕКСЗ*

Діаметр деталі $d$ , мм	Довжина вильоту $l_0$ , мм	Питомий тиск $p$ , МПа	Питомий електрич- ний опір $\rho_0$ , Ом·м	Струм $I$ , А
12	15	8	$3,44 \cdot 10^{-8}$	8000

Для зручності розрахунку було використано припущення, що об'єм металу, в якому здійснюється виділення тепла на контактному опорі, – це об'єм металу в шорсткій поверхні. Відомо, що у шорстких поверхнях при токарній підготовці на деталей величина  $R_a \approx 2,5$  мкм [8], а висота нерівностей контактуючих поверхонь становить  $2R_a$  [9]. При цьому повнота заповнення контактуючих поверхонь металом  $C_x$  становить (0,2...0,4) від вихідної концентрації  $C_0$  (рис. 1, а) [9]. Після зминання шорсткої поверхні розрахункову схему можна представити у вигляді, зображеному на рис. 1, б, де  $V_{ш}$  – об'єм металу шорсткої зони, деформованого до повного зминання мікроступів.

Прийmemo, що частка об'єму металу в шорсткій поверхні становить (0,4)  $C_0$ . Тоді величина деформації після зминання шорсткої поверхні дорівнює:

$$\varepsilon = \frac{l_1 - l_2}{l_1} = \frac{2R_a - 0,4 \cdot 2R_a}{2R_a} = 0,6.$$

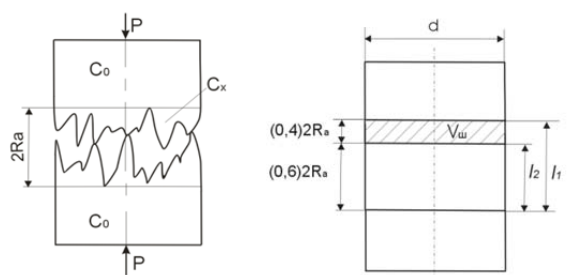


Рис. 1. Схема контактування до (а) та після (б) зминання шорстких поверхонь

Як вказано у роботі [10], для розрахунку кількості теплоти на ранній стадії нагріву приконтатне джерело вважають миттєвим і прикладеним у момент початку нагріву  $t = 0$ . При цьому теплота за критичної швидкості деформування  $v = 10^{-2} \text{ с}^{-1}$  [1] у контакті деталей протягом його зминання виділяється за час:

$$t = \frac{v}{\varepsilon} = \frac{10^{-2}}{0,6} = 0,017, \text{ с}.$$

Контактний опір для алюмінієвих механічно очищених токарною обробкою поверхонь, розрахований за виразом (8) при зусиллі стиску 90 кг,  $r_k = 0,0015$  Ом та  $\alpha = 0,8$ , становить:

$$R_k = \frac{r_k}{P^\alpha} = \frac{0,0015}{90^{0,8}} = 40 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом}.$$

Тоді, враховуючи, що контактних опорів при розміщенні між деталями двох шарів фольги виникає три, за виразом (9) одержимо:

$$q = m_1 I^2 3R_k = 0,4 \cdot 8000^2 \cdot 3 \cdot 40 \cdot 10^{-6} = 3,07 \cdot 10^3, \text{ Вт}.$$

При стиковому ЕКЗ опором теплота, що виділяється у контакті між торцями деталей по мірі нагрівання з'єднання, швидко зменшується [2], тому після досягнення часу  $t > 0,017$  с теплота виділяється тільки в об'ємі деталей на їх власному електричному опорі  $2R_d$ .

Враховуючи, що площа поперечного перерізу деталі дорівнює  $(\pi \cdot d^2)/4 = (\pi \cdot 0,012^2)/4 = 113 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ , власний опір деталей, визначений за формулою (7):

$$2R_d = 2 \frac{\rho_0 l_0}{S} = 2 \cdot \frac{3,44 \cdot 10^{-8} \cdot 0,015}{113 \cdot 10^{-6}} = 9,125 \cdot 10^{-6}, \text{ Ом}.$$

Кількість теплоти, що виділяється в об'ємі деталей у початковий момент виділення в них тепла при проходженні електричного струму, можна визначити за формулою:

$$Q = I^2 2R_d = 8000^2 \cdot 2 \cdot 9,125 \cdot 10^{-6} = 1168 \text{ Вт}.$$

Аналогічний розрахунок було проведено для випадку стикового ЕКЗ через чотири та шість шарів алюмінієвої фольги. Результати розрахунків наведені у табл. 2.

Таблиця 2

*Кількість теплової енергії при ЕКСЗ опором  
алюмінієвого сплаву АД31 через прошарок*

Величина	2 шари	4 шари	6 шарів
$q, \times 10^3 \text{ Вт}$	3,07	5,12	7,17
$Q, \text{ Вт}$	1168		

Отримані результати було використано для скінченно-елементного моделювання процесу нагріву при електроконтактному стиковому зварюванню опором алюмінієвого сплаву АД31 через два, чотири та шість шарів алюмінієвої фольги у проміжному прошарку.

Розрахункова схема стержня для моделювання тепловідведення у процесі нагріву під час зварювання двох циліндричних стержнів зі сплаву АД31 діаметром 12 мм через проміжний прошарок, що складається з двох шарів алюмінієвої фольги марки АД0 товщиною 11 мкм, зображена на рис. 2. Розрахункові схеми для моделювання процесу нагріву при зварюванні через чотири та шість прошарків аналогічні. Результати скінченно-елементного моделювання представлено на рис. 3.

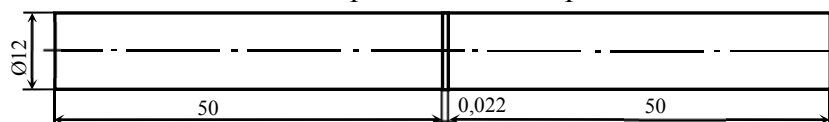


Рис. 2. Розрахункова схема стержня

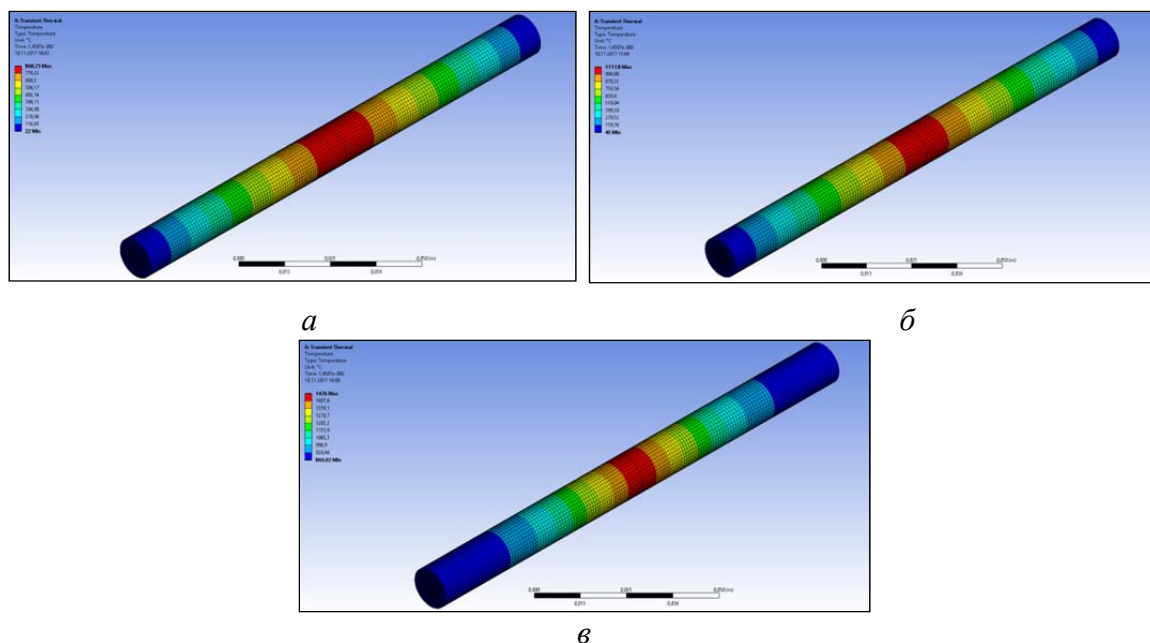


Рис. 3. Розподілення температури вздовж стержня при ЕКСЗ опором  
алюмінієвого сплаву АД31 залежно від кількості шарів фольги:  
а – 2 прошарки; б – 4 прошарки; в – 6 прошарків

Як показали результати моделювання, зі збільшенням кількості шарів фольги у початковий момент нагріву відбувається більше тепловідведення деталей у більш вузькій приконтактній зоні порівняно з використанням меншої кількості шарів (рис. 4).

Зростання температури в контакті пов'язується зі збільшенням кількості контактних опорів, що виникають між шарами фольги. Зменшення зони температурного впливу можна пояснити тим, що з підвищенням температури теплопровідність алюмінію зменшується.

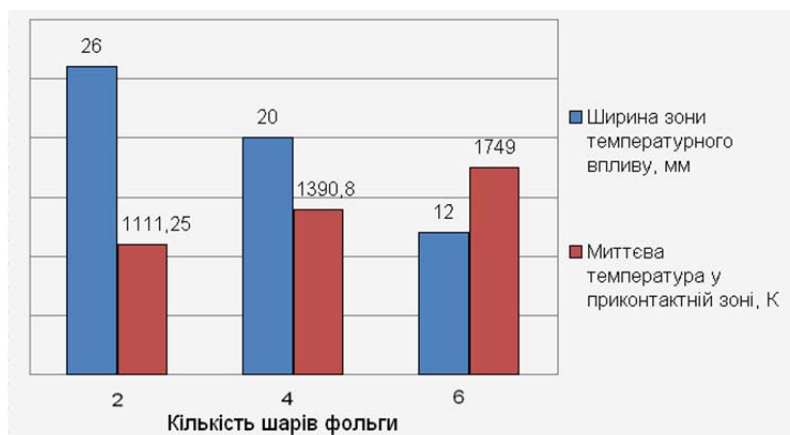


Рис. 4. Результати моделювання процесу нагріву при ЕКСЗ через прошарок

Для експериментального дослідження використовували прутки діаметром 6 мм з алюмінієвого сплаву марки АД31. Електроконтактне стикове зварювання опором проводили на машині МС-802У на режимі, який є максимально жорстким для цього типу машин:  $j = 300 \text{ А/мм}^2$ ;  $P_{зв} = 8 \text{ МПа}$ ;  $t_{зв} = 0,5...0,7 \text{ с}$ . Було досліджено вплив кількості тонких прошарків з алюмінію АД0 завтовшки 11 мкм на міцність зварних з'єднань на розтяг (рис. 5). Необхідно зазначити, що при зварюванні заготовок на вказаних режимах напряму нероз'ємне з'єднання не утворюється взагалі.

Встановлено, що при зварюванні прутків з алюмінію АД31 через 6 шарів алюмінієвої фольги міцність зварних з'єднань досягає 250 МПа, що становить 95 % міцності основного матеріалу. При цьому рівень деформації основного матеріалу не перевищує 2 %.

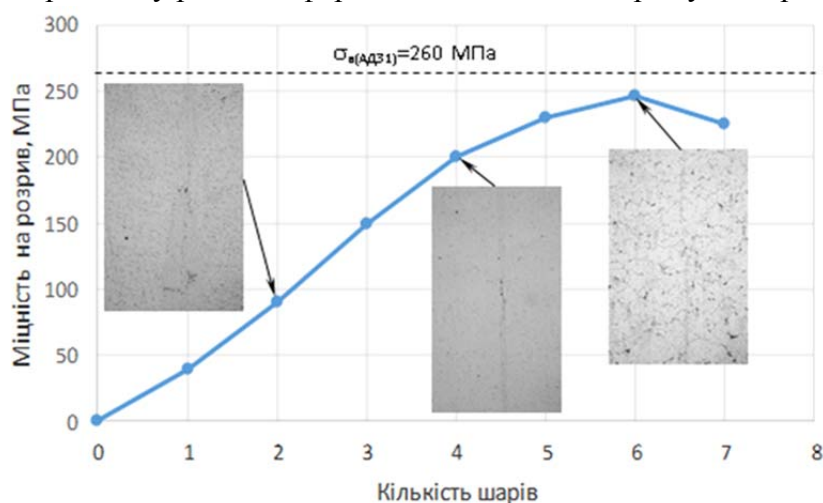


Рис. 5. Вплив кількості шарів фольги з алюмінію на міцність зварних з'єднань АД31+АД31, отриманих електроконтактним стиковим зварюванням опором на режимі:  $j = 300 \text{ А/мм}^2$ ;  $P_{зв} = 8 \text{ МПа}$ ;  $t_{зв} = 0,5...0,7 \text{ с}$

Той факт, що оптимальна кількість шарів у тонких прошарках з алюмінію для стикового ЕКСЗ опором сплаву АД31 становила 6 шарів, а в роботах [4; 11] при точковому ЕКСЗ алюмінію АМц оптимальна кількість проміжних шарів з алюмінієвої фольги – 4, дозволяє стверджувати, що вибір кількості шарів (тобто вибір величини контактного опору) залежить для кожного конкретного випадку від співвідношення контактного опору деталь–деталь та щільності зварювального струму для утворення максимального рівня теплової енергії в стикі.

Проведено дослідження мікроструктури та вимірювання мікротвердості зварних з'єднань, отриманих на оптимальних режимах через 6 шарів проміжних тонких прошарків (рис. 6).

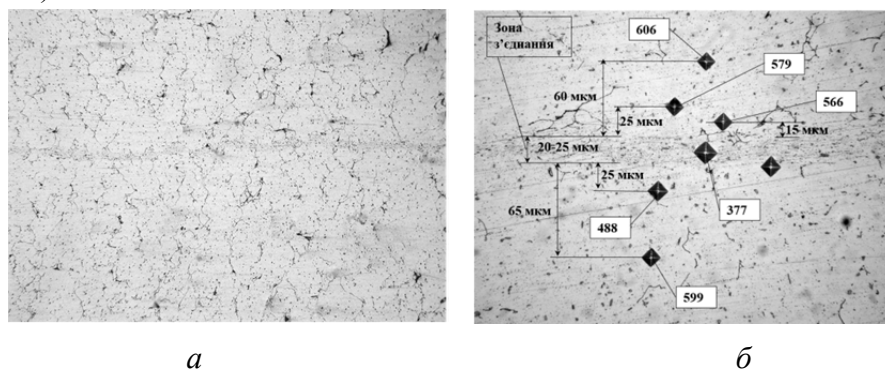


Рис. 6. Мікроструктура (а,  $\times 250$ ) та мікротвердість (б,  $\times 500$ ) зони з'єднання АД31+АД31, отриманого електроконтактним стиковим зварюванням опором на режимі:  $j = 300 \text{ А/мм}^2$ ;  $P_{зв} = 8 \text{ МПа}$ ;  $t_{зв} = 0,5 \dots 0,7 \text{ с}$ , через 6 шарів фольги з алюмінію товщиною 11 мкм (оптична мікроскопія)

З фотознімки на рис. 6, б видно, що ширина зона взаємного розплавлення становить величину близько 20...25 мкм, що свідчить про високий ступінь локалізації теплової енергії в стику. При цьому мікротвердість зони контакту на 25...30 % менше мікротвердості основного металу, що, як відомо, позитивно позначається на працездатності зварних з'єднань.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують ефективність використання для прецизійного електроконтактного зварювання тонких проміжних прошарків з матеріалу з високим електричним опором, близького за хімічним складом до основного.

На основі проведених досліджень нами був запропонований спосіб електроконтактного стикового зварювання опором алюмінію та його сплавів через прошарок [12].

**Висновки і пропозиції.** Встановлено, що ефективним засобом локалізації теплової енергії в стику при електроконтактному стиковому зварюванні є використання тонких проміжних прошарків з алюмінієвої фольги. Показано, що регулювати кількість теплоти, яка виділяється у стику при електроконтактному зварюванні, можна за рахунок зміни кількості шарів у прошарку.

Запропоновано спосіб електроконтактного стикового зварювання опором алюмінію та його сплавів через прошарок. Показано, що при стиковому зварюванні опором прутків із алюмінієвого сплаву АД31 на режимі  $j = 300 \text{ А/мм}^2$ ;  $P_{зв} = 8 \text{ МПа}$ ;  $t_{зв} = 0,5 \dots 0,7 \text{ с}$  через 6 шарів з фольги алюмінію АД0 завтовшки 11 мкм, міцність зварних з'єднань досягає 95 % міцності основного матеріалу при деформації не більше 2 %.

#### Список використаних джерел

1. Банов М. Д. Специальные способы сварки и резки : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / М. Д. Банов, В. В. Масаков, Н. П. Плюснина. – М. : Академия, 2009. – 207 с.
2. Гуляев А. И. Технология и оборудование контактной сварки / А. И. Гуляев. – М. : Машиностроение, 1985. – 254 с.
3. Пат. 89671 UA, МПК51 В23К 11/10. Спосіб електроконтактного точкового зварювання металевих деталей через прошарок / Г. К. Харченко, О. О. Новомлинець, Ю. В. Фальченко, Л. В. Петрушиненко; заявник і власник Чернігівський національний технологічний університет. – № u201314308; заявл. 09.12.2013; опубл. 25.04.2014, Бюл. № 8.
4. Прецизійне електроконтактне точкове зварювання металевих матеріалів / О. О. Новомлинець, С. В. Олексієнко, І. В. Завальна, Є. В. Половецький // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2014. – № 2. – С. 104–111.

5. *Технология и оборудование контактной сварки: Учебник для машиностроительных вузов* / Б. Д. Орлов, А. А. Чакалев, Ю. В. Дмитриев и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 352 с.
6. *Кочергин К. А. Контактная сварка* / К. А. Кочергин. – Л. : Машиностроение, 1987. – 240 с.
7. *Кочергин К. А. Сварка давлением* / К. А. Кочергин. – М. : Машиностроение. 1972. – 215 с.
8. *Мартыненко О. В. Точность в машиностроении : учеб. пособие* / О. В. Мартыненко. – Волгоград : РПК “Политехник”, 2005. – 62 с.
9. *Ковшиков Е. К. Новое в технологии диффузионного соединения материалов : учеб. пособие* / Е. К. Ковшиков, Г. А. Маслов. – М. : Машиностроение, 1990. – 64 с.
10. *Гельман А. С. Технология контактной электросварки* / А. С. Гельман. – М. : Mashgiz, 1952. – 368 с.
11. *Дослідження процесів масоперенесення при прецизійному електроконтактному зварюванні алюмінію* / В. Мазанко, О. Новомлинець, С. Олексієнко, С. Ющенко // *Технічні науки та технології: науковий журнал*. – 2017. – № 2 (8). – С. 75–81.
12. *Пат. 117001 UA, МПК51 В23К 20/16. Спосіб електроконтактного стикового зварювання опором алюмінію та його сплавів через прошарок* / Г. К. Харченко, О. О. Новомлинець, С. В. Олексієнко, С. М. Ющенко, Є. В. Половецький, І. О. Прибитько, І. В. Нагорна; заявник і власник Чернігівський національний технологічний університет. – № u201613635; заявл. 30.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11.

### References

1. Banov, M.D., Masakov, V.V. & Plusnina, N.P. (2009). *Spetsialnye sposoby svarki i rezki [Special methods of welding and cutting]*. Moscow: Academia (in Russian).
2. Guliaiev, A.I. (1985). *Tekhnologiia i oborudovanie kontaktnoi svarki [Technology and equipment of resistance welding]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
3. Kharchenko, G.K., Novomlynets, O.O., Falchenko, Yu.V., & Petrushinets, L.V. (2014). *Sposib elektrokontaknoho tochkovoho zvariuvannia metalevykh detalej cherez prosharok [The method of resistance spot welding of metal parts through interlayer]*. UA Patent No. 89671.
4. Novomlynets, O.O., Oleksiienko, S.V., Zavalna, I.V. & Polovetskyi, Ye.V. (2014). *Pretsyzine elektrokontaktne tochkove zvariuvannia metalevykh materialiv [High-precision electrocontact spot welding of metallic materials]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tehnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, no. 2, pp. 104–111 (in Ukrainian).
5. Orlov, B.D., Chakalev, A.A. & Dmitriev, Yu.V. (1986). *Tekhnologiia i oborudovanie kontaktnoi svarki [Technology and equipment of resistance welding]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
6. Kochergin, K.A. (1987). *Kontaknaia svarka [Resistance welding]*. Leningrad: Mashinostroenie (in Russian).
7. Kochergin, K.A. (1972). *Svarka davleniem [Pressure welding]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
8. Martynenko, O.V. (2005). *Tochnost v mashinostroenii [Precision in mechanical engineering]*. Volgograd: RPK “Politekhnik” (in Russian).
9. Kovshikov, E. K. & Maslov, G. A. (1990). *Novoe v tekhnologii diffuzionnogo soedineniia materialov [New in technologies of diffusion bonding of materials]*. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
10. Gelman, A.S. (1952). *Tekhnologiia kontaktnoi elektrosvarki [Technology of electric resistance welding]*. Moscow: Mashgiz (in Russian).
11. Mazanko, V., Novomlynets, O., Oleksiinko, S. & Yushchenko, S. (2017). *Doslidzhennia protsesiv masoperenesennia pry elektrokontaktному zvariuvanni aliuminiiu [Investigation of mass transfer processes during high-precision electric resistance welding of aluminium]*. *Tekhnichni nauky ta tehnolohii. – Technical sciences and technology*, no. 2 (8), pp. 75–81 (in Ukrainian).
12. Kharchenko, G.K., Novomlynets, O.O., Oleksiienko, S.V., Yushchenko, S.M., Polovetskyi, Ye.V., Prybytko, I.O., Nahorna, I.V. (2016). *Sposib elektrokontaknoho stykovoho zvariuvannia oporom aliuminiiu ta yoho splaviv [The method of resistance butt welding of aluminium and its alloys through interlayer]*. UA Patent No. 13635.

Oleg Novomlynets, Serhii Oleksiienko,  
Svitlana Yushchenko, Evgen Polovetskiy

## PRECISION PRESSURE WELDING OF ALUMINIUM ALLOYS

**Urgency of the research.** Aluminum alloys are widespread materials in constructions of different branches of industry. Apart from ensuring the strength of permanent joints in typical units of constructions, their production requires to retain their designed form.

**Target setting.** Precision joining of aluminum alloys by pressure welding is complicated owing to their high thermoplastic properties, heat- and electro conductivity. It requires the search of effective methods for obtaining products with low deformation level.

**Actual scientific researches and issues analysis.** One of perspective joining methods of aluminium alloys is precision electric resistance welding through intermediate layers of aluminium foil. Their application promotes to localization of heat energy in the contact of welded components and decrease of product deformation level.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Heat release process in the contact of welded components during electric resistance butt-welding of aluminum alloys through interlayers remains unstudied.

**The research objective.** Aim of this paper is the development of precision electric resistance welding of aluminium alloys.

**The statement of basic materials.** The investigation of heat release process has been carried out by estimated way with using of finite-element modeling. The joining of aluminum alloy 6063 has been realized by electric resistance butt-welding through intermediate layers of aluminum 1050 foil by thickness 11  $\mu\text{m}$ . Welding conditions: the current density 300 A/mm<sup>2</sup>, the specific pressure 8 MPa, the welding time 0.5-0.7 sec.

**Conclusions.** It is shown, that quantity of heat generated in the contact zone during electric resistance butt-welding depends on number of layers in the interlayer. It has been determined that welding of aluminum alloy 6063 under offered conditions through 6 layers of aluminum foil allows to obtain welded joints with strength by 95 % from base metal strength and deformation level up to 2 %.

**Key words:** precision pressure welding; aluminium; resistance welding; intermediate layer; localization of heat release; welded joint; strength.

Tabl.: 2. Fig.: 8. Bibl.: 12.

УДК 621.791.4

Олег Новомлинец, Сергей Олексиевко,  
Светлана Ющенко, Евгений Половецкий

## ПРЕЦИЗИОННАЯ СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ

На сегодняшний день конструкции из алюминиевых сплавов имеют широкое распространение в приоритетных высокотехнологических отраслях индустрии, в частности авиационной, ракетно-космической, автомобиле- и судостроительной, производстве приборов военного назначения. При этом, кроме обеспечения высокой прочностью неразъемных соединений в узлах конструкций, существует необходимость сохранения их проектной формы. В связи с этим актуальным заданием является поиск новых и совершенствование существующих способов прецизионного соединения алюминия и его сплавов.

Проведено исследование прецизионной электроконтактной стыковой сварки на примере алюминиевого сплава АД31 с использованием промежуточных слоев из алюминиевой фольги марки АД0. Установлен оптимальный режим сварки, исследована микроструктура полученных сварных соединений.

**Ключевые слова:** прецизионная сварка давлением; алюминий; электроконтактная сварка; промежуточная прослойка; локализация тепловыделения; сварное соединение; прочность.

Табл.: 2. Рис.: 8. Библ.: 12.

**Новомлинец Олег Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства 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, первый проректор, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Novomlynets Oleg** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, First Vice-Rector, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko 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

**Олексієвко 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).

**Олексієвко 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).

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**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 Shevchenko Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** 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 Shevchenko 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

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

**Половецкий Евгений Викторович** – кандидат технических наук, научный сотрудник отдела физико-химических методов исследования материалов, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины (ул. К. Малевича, 11, г. Киев, 03680, Украина).

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

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

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

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



*Геннадій Болотов, Максим Болотов, Ірина Нагорна*

## ОСОБЛИВОСТІ З'ЄДНАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ У ВУЗЛАХ МАШИН ТА БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

**Вступ.** Композиційні матеріали (КМ) володіють комплексом властивостей, що відрізняють їх від традиційних конструкційних матеріалів (металів і сплавів), і в сукупності відкривають широкі можливості, як для вдосконалення існуючих конструкцій самого різного призначення, так і для розробки нових конструкцій.

**Постановка проблеми.** Процес виготовлення конструкцій із застосуванням композитів складається з операцій з'єднання різних елементів у вузли та агрегати. Конструктивне оформлення з'єднань композитних елементів характеризується значною різноманітністю. Кожне з'єднання володіє перевагами та недоліками і їх вибір залежить від характеру і величини навантажень, розмірів деталей, фізико-механічних властивостей матеріалів, умов експлуатації, вартості. Звідси виникають технологічні проблеми при з'єднанні деталей з КМ, пов'язані, в першу чергу, із вибором оптимального способу з'єднання.

**Мета роботи.** Метою роботи є аналіз особливостей основних способів з'єднання волокнистих композиційних матеріалів на полімерній основі та визначення галузей їх застосування для створення конструкцій.

**Викладення основного матеріалу.** Композиційні матеріали, у більшості, володіють незначними деформаціями руйнування, тому навіть їх несуттєве подовження може призвести до локального руйнування композита вже в процесі застосування різьбових з'єднань або клепок при механічному з'єднанні. Шаруватість структури композитів призводить до перевантаження шарів КМ, що прилягають до клейового прошарку, і може викликати їх відрив або розшарування при адгезійних способах з'єднання. Ці особливості слід враховувати при виборі виду з'єднань та оцінці їх міцності.

Механічні способи з'єднання доцільно застосовувати при наявності значних розширюючих напружень, коли необхідні особливі критерії надійності і у випадку обов'язкового періодичного розбирання конструкції, при цьому слід враховувати вплив появи у з'єднанні концентраторів напружень.

Адгезійні (клеєні) з'єднання забезпечують суттєве зниження концентрації напружень, що дозволяє підвищити межу міцності в умовах дії як статичних, так і динамічних навантажень, із одночасним зниженням маси конструкції і вартості вузлів з композиційних матеріалів.

**Висновки.** Вибір та застосування виду з'єднання композиційних матеріалів залежить від типу навантажень (статичні або втомні), надійності, легкості у виробництві, вартості та від спеціальних умов (необхідності отримання розбірних, розсувних або інших видів з'єднань).

**Ключові слова:** волокнисті композиційні матеріали; полімерна матриця; способи з'єднання; галузь застосування.

Рис.: 9. Бібл.: 8.

**Вступ.** Композиційні матеріали (КМ) являють собою гетерофазні системи, побудовані з двох або більше компонентів зі збереженням індивідуальності кожного окремого компонента. Здебільшого компоненти КМ розрізняються за геометричною ознакою. Один з компонентів володіє неперервністю по усьому об'єму і є матрицею. Другий компонент є переривчастим, розподіленим у об'ємі, і вважається підсилюючим або армуючим. Як матричні матеріали найбільше поширення знайшли метали (в основному, алюміній) та полімери. Армуючими компонентами для силових елементів конструкцій з композитів у авіабудуванні, суднобудуванні, космічній техніці переважно є волокнисті матеріали різної природи (вуглецеві та борні волокна, високоміцні арамідні та скловолокна). Армовані композиції з успіхом застосовуються замість таких різноманітних матеріалів, як бетон, деревина, сталь, алюміній.

Композиційні матеріали володіють комплексом властивостей, що відрізняють їх від традиційних конструкційних матеріалів (металів і сплавів), і в сукупності відкривають широкі можливості як для вдосконалення існуючих конструкцій самого різного призначення, так і для розробки нових конструкцій і технологічних процесів.

**Постановка проблеми.** Процес виготовлення конструкцій із застосуванням композитів складається з операцій з'єднання різних елементів (листів, профілів, балок, стержнів) у вузли та агрегати. Конструктивне оформлення з'єднань композитних елементів характеризується значною різноманітністю і залежить як від призначення і відповідних вимог, так і від технологічних операцій, за допомогою яких вони виконуються.

Відмінності фізико-механічних властивостей композитів від аналогічних властивостей традиційних металів (анізотропія міцнісних характеристик, низька міжшарова міцність, гетерогенність структури та ін.) призводять до того, що ці матеріали значно гірше, ніж метали, забезпечують передавання зусиль з одного елемента до іншого.

Елементи, що утворюють вузол або виріб, можуть бути з'єднаними між собою за допомогою клеєного прошарку, механічного кріплення (болтами, заклепками), або поєднанням цих способів [1]. Композиційні матеріали із металевою матрицею можуть з'єднуватись також за допомогою зварювання.

Кожне з'єднання володіє особливостями, перевагами та недоліками і вибір будь-якого з них залежить від багатьох факторів – характеру і величини навантажень, розмірів деталей, фізико-механічних властивостей матеріалів, умов експлуатації, вартості. Звідси виникають технологічні проблеми при з'єднанні деталей з КМ між собою та з деталями з традиційних матеріалів, пов'язані передусім із вибором оптимального способу з'єднання.

**Мета роботи.** Метою роботи є аналіз особливостей основних способів з'єднання волокнистих композиційних матеріалів на полімерній основі та визначення галузей їх застосування для створення конструкцій.

**Викладення основного матеріалу.** Волокнисті композиційні матеріали складаються з багатьох шарів армуючої компоненти (волокон). Ця компонента сприймає розтягуючі та стискаючі навантаження, а зв'язуюча їх основа (матриця) перерозподіляє напруження між волокнами і запобігає втраті їх стійкості.

Композиційні матеріали здебільшого володіють незначними деформаціями руйнування (близько 1...2 %), тому навіть їх несуттєве подовження може призвести до локального руйнування композита вже у процесі затягування різьбових з'єднань або клепання при механічному з'єднанні [2]. Шаруватість структури композитів призводить до перевантаження шарів КМ, що прилягають до клейового прошарку, і може викликати їх відрив або розшарування при адгезійних способах з'єднання. Ці особливості слід враховувати при виборі виду з'єднань та оцінці їх міцності.

Будь-яку конструкцію з композиційних матеріалів можна розглядати як комбінацію окремих елементів різної форми (листи, балки, оболонки та ін.), з'єднаних в одне ціле. Комбінуючи ці елементи, можливо отримати значну кількість різних за геометрією з'єднань. На практиці їх можна привести до декількох основних видів: стикові, напustкові та кутові. На рис. 1 наведені основні типи механічних з'єднань композиційних матеріалів [3], звідки видно, що це переважно відносно прості з'єднання напustкового типу. Для підсилення можуть застосовуватись ті ж з'єднання, але з удвоєними елементами, які знижують рівень зсувних напружень. Загалом, основні умови проектування з'єднань композиційних матеріалів залежать від типу структур композитів, призначення з'єднаних деталей, умов експлуатації та інших факторів.

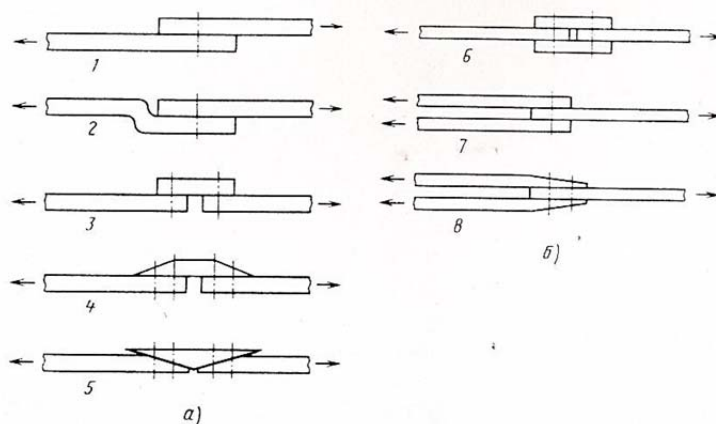


Рис. 1. Види механічних з'єднань композиційних матеріалів:

- а* – прості з'єднання: 1 – звичайне напustкове; 2 – напustкове із вигином; 3 – стикове із накладкою; 4 – стикове із зкошеною накладкою; 5 – з'єднання у вус із накладкою;  
*б* – двійні з'єднання: 6 – стикове із двома накладками; 7 – двостороннє напustкове; 8 – скошене двостороннє напustкове

При проектуванні механічних з'єднань композитів необхідно спочатку експериментально визначити основні показники міцності композитів на зминання, зрізання та розрив із урахуванням напрямку дії зовнішнього навантаження. Далі виконується теоретичний аналіз розподілу навантажень та напружень у з'єднанні і здійснюється вибір оптимальних параметрів з'єднання виходячи з умови його рівномірності (рис. 2) [2]:

$$P_c = P_{o.c} = P_{cm} = P_{cp} = P_{cp.t},$$

де  $P_{o.c}$ ,  $P_{cm}$ ,  $P_{cp}$ ,  $P_{cp.t}$  – навантаження, що руйнують зразок відповідно по послабленому перерізу, в результаті зминання, зрізання та зрізання силової точки.

Оскільки для композиційних матеріалів ця умова не виконується однозначно, то ефективність їх з'єднань оцінюють як [4]

$$K_{ef} = F_c / F_{km},$$

де  $F_c$  – міцність з'єднання;  $F_{km}$  – міцність композиційного матеріалу.

Як і при проектуванні з'єднань елементів з металів, для композиційних матеріалів також застосовується поняття запасу міцності. При проектуванні у літакобудуванні конструкцій з металевих деталей запас міцності обирається рівним 1,5. Для композиційних матеріалів, які практично не володіють текучістю, запас міцності обирається рівним 3.

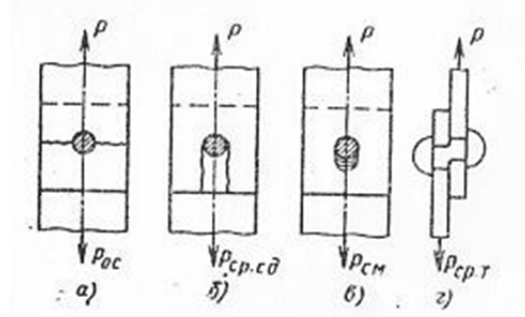


Рис. 2. Форми руйнувань механічних з'єднань композитних елементів:

а – руйнування по послабленому перерізу; б – зрізання-зсув композита;  
в – зминання композита; г – зрізання силової точки

Заклепкові та різьбові з'єднання плоских композиційних панелей можуть виконуватись як із зенковкою під потайні головки, так і без неї. Зокрема, конструювання з'єднань склопластикових матеріалів засновано на використанні з'єднувальних елементів без потайних головок, для чого необхідно знати тільки діаметр отвору, який залежить від товщини з'єднуваних пластин. Для пластин товщиною менше 1 мм можуть застосовуватись додатково накладки із роззенкованими отворами. Якщо конструкція передбачає наявність багатьох отворів, то між ними повинна бути передбачена певна відстань. Відстань між суміжними рядами визначається по центрах отворів у кожному ряду (рис. 3). Найчастіше ця відстань обирається рівною п'яти діаметрам отворів, що забезпечує достатній запас міцності.

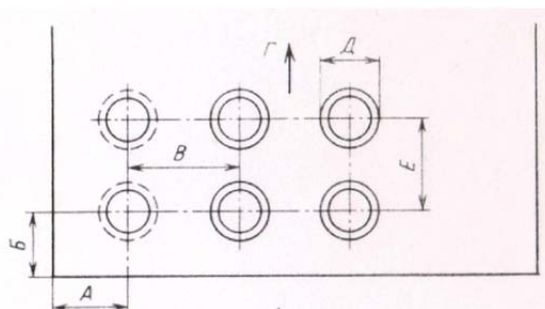


Рис. 3. Болтові з'єднання деталей з композитів:

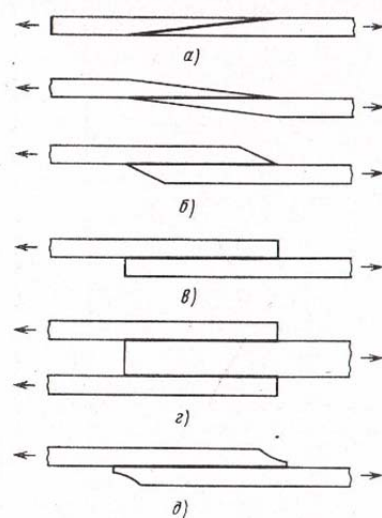
А, Б – віддалення центру отвору від кромки та краю листа; В – відстань між центрами отворів впоперек листа; Г – напрямок прикладання навантаження; Д – діаметр кріпильного виробу (болта); Е – відстань між центрами отворів вздовж листа

Крім простоти, особливістю механічних з'єднань композиційних матеріалів є те, що вони можуть не тільки витримувати значні навантаження, а й перерозподіляти їх, що знижує, в цілому, експлуатаційні навантаження на елементи з'єднання. Разом з тим необхідно враховувати навантаження, що виникають при самому процесі з'єднання. Зазвичай такі навантаження не повинні перевищувати 10 % від загального аксіального навантаження на композит. Пошкодження композита при з'єднанні можуть призвести до його передчасного руйнування при стисканні або розтягуванні, тому дуже важливо запобігати його руйнування при затисканні. Крім того, свердління отворів завжди пов'язане із руйнуванням волокон, і міцність таких з'єднань залежить від міцності матеріалу матриці. Підвищують міцність болтових та заклепкових з'єднань додатковим армуванням накладками з корозійно-стійкої сталі або титанових сплавів [5].

Суттєві недоліки механічних з'єднань композиційних матеріалів, які в першу чергу пов'язані з наявністю концентраторів напружень і найбільш яскраво проявляються в умовах дії динамічних навантажень, обмежують їх застосування у певних галузях, зокрема, літакобудуванні. В цих випадках для створення конструкційних структур ефективно застосовують адгезійні способи з'єднання композитів між собою та з іншими металами. Адгезійно з'єднані елементи почали застосовувати у літакобудуванні ще з 1945 року. Адгезійні з'єднання мають суттєві переваги перед механічними, зокрема:

- адгезійні з'єднання є меншими концентраторами напружень, ніж механічні, завдяки чому зростає межа міцності при статичному навантаженні;
- адгезійні з'єднання можуть бути спроектовані таким чином, що будуть мати гладку зовнішню поверхню і володіти мінімальною можливістю для розповсюдження тріщин;
- можуть бути легко з'єднані значні площі, причому вартість такого з'єднання буде суттєво нижче, ніж механічного.

Класичні види адгезійних з'єднань схематично зображені на рис. 4 [6].



*Рис. 4. Види адгезійних з'єднань:*

*а – у вус; б – напусткове із скосом; в – просте напусткове;  
г – двійне напусткове; д – модифіковане напусткове*

Кожен з видів з'єднань має свої переваги залежно від характеру і напрямку прикладання навантажень. З'єднання, яке добре витримує навантаження при стисканні, може незадовільно працювати на розтягування або зминання. Типовий розподіл напружень у вузлах адгезійно з'єднаних композитів наведений на рис. 5 [7], звідки видно, що дотичні напруження по довжині клеєного з'єднання розподіляються нерівномірно і мають максимальне значення на кінцях напустку. При збільшенні довжини напустку максимальні напруження знижуються і після досягнення певної межі залишаються незмінними.

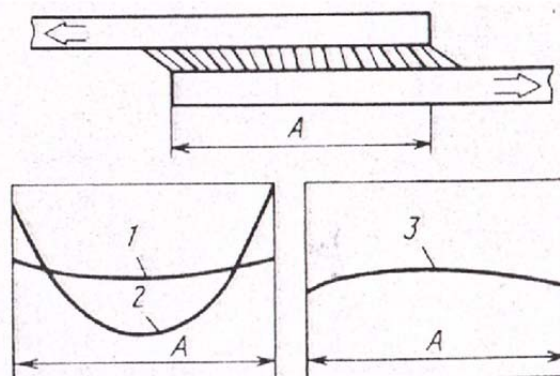


Рис. 5. Розподіл напружень зсуву в адгезійному напустковому з'єднанні довжиною  $A$ :

- 1 – еластифікований адгезив (нееластичний із високим опором зсуву);  
 2 – стандартний розподіл зсувних напружень для нормального адгезиву;  
 3 – оптимальна крива розподілу зсувних напружень

На рис. 6 показано, що для простого напусткового з'єднання із збільшенням довжини перекриття утримуєчне питоме зусилля зростає пропорційно ширині, а зсувні напруження в адгезійному шарі залишаються постійними або навіть знижуються.

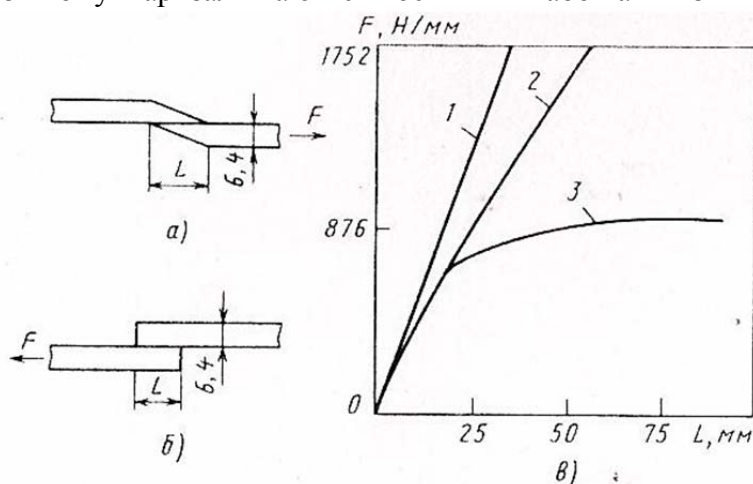


Рис. 6. Вплив довжини перекриття на міцність плоских напусткових з'єднань:

- а – із скосом кромки; б – із прямими кромками; в – залежність питомої (на 1 мм ширини) міцності з'єднань  $F$  від довжини напустку  $L$ ;  
 1 – теоретична крива; 2 та 3 – криві з'єднань відповідно із скосом кромки та без скосу кромки

Особливістю адгезійних з'єднань є залежність внутрішніх напружень не тільки від навантаження, а й від температури. Підвищена температура експлуатації конструкцій, що мають з'єднання, призводить до зростання термічних напружень, особливо якщо коефіцієнти лінійного розширення окремих елементів не збігаються. Крім того, напруження зростають ще внаслідок того, що лінійні коефіцієнти термічного розширення адгезійного шару не збігаються із їх значеннями для з'єднуваних елементів. Оскільки елементи конструкції повинні працювати у широкому діапазоні температур (що є особливо важливим для авіаційної техніки), існування температурних напружень повинно обов'язково враховуватись. Аналітична оцінка середніх зсувних напружень, що виникають у з'єднанні під впливом перепадів температур, оцінюється виразом [7]

$$\tau_0 = \frac{\Delta T_1 \alpha_1 - \Delta T_2 \alpha_2}{1/E_1 + 1/E_2},$$



де  $\tau_0$  – середнє зсувне напруження;  $E_1, E_2$  – модулі пружності з'єднуваних матеріалів;  $a_1, a_2$  – коефіцієнти лінійного розширення тих же матеріалів;  $\Delta T_1, \Delta T_2$  – різниця температур елементів з'єднання і температури отвердженого адгезиву.

Максимальні залишкові напруження тим вище, чим тонше клейовий прошарок, вище його модуль пружності і менше різниця жорсткостей з'єднуваних матеріалів. Необхідно враховувати також, що напруження, які виникають у з'єднуваних елементах, можуть викликати вигин (викривлення) з'єднання, притому тим більший, чим більше різниця жорсткостей елементів. На рис. 7 наведені типові градієнти напружень для різних термодеформаційних умов у з'єднанні.

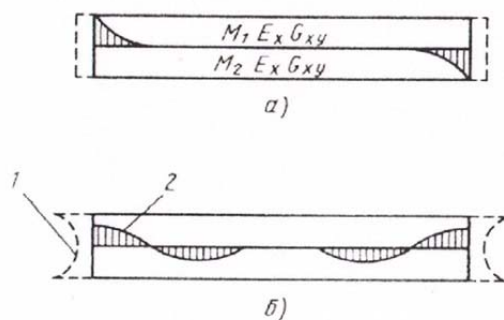


Рис. 7. Епюри напружень, що виникають унаслідок різниці температурних коефіцієнтів лінійного розширення елементів з'єднання:

*а* – розширення одного елемента відносно іншого; *б* – одночасне розширення обох елементів; 1 – форма торців внаслідок нагріву; 2 – градієнт напружень

Втомні властивості адгезійних з'єднань композиційних матеріалів визначаються, в основному, властивостями адгезива. Крім того, вони залежать також від характеристик з'єднання й умов експлуатації таким чином:

- 1) втомні властивості підвищуються зі збільшенням довжини перекриття напусткового з'єднання;
- 2) втомні властивості адгезива знижуються із ростом товщини з'єднуваних елементів;
- 3) залежно від типу адгезиву вплив температури на втомні властивості з'єднання може бути протилежним.

При прикладанні циклічного стискуючого навантаження адгезійно з'єднані зразки забезпечують на 25 % більшу стійкість у порівнянні з механічними з'єднаннями. Особливо суттєві переваги адгезійне з'єднання забезпечує при багатоциклового навантаженні. Порівняльний аналіз стійкості в цих умовах для різних типів з'єднань наведений на рис. 8 [8].

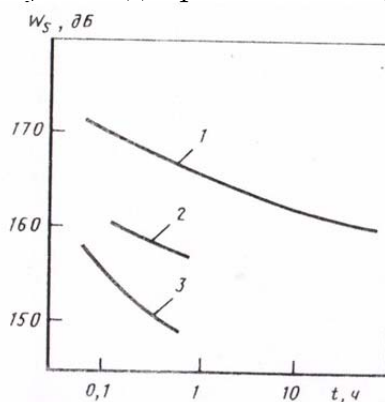


Рис. 8. Втомні властивості клеєних та заклепкових конструкцій під дією навантажень звукової частоти інтенсивністю  $Ws$  та тривалістю  $t$ :

1 – сандвічеві конструкції із сотовим наповнювачем; 2 – адгезійні (клеєні) з'єднання; 3 – заклепкові з'єднання

Зі збільшенням товщини з'єднуваних матеріалів для усіх видів з'єднань показники ефективності знижуються (рис. 9) [2]. Це пояснюється зростанням кількості рядів і, відповідно, кількості кріпильних елементів у механічних з'єднаннях, та збільшення ексцентриситету передавання навантажень у адгезійних. З наведеного рисунку видно, що область ефективного застосування клеєних з'єднань знаходиться у межах до 1,6 мм товщини з'єднуваних деталей. Для заклепкових з'єднань ефективна область товщин становить 1,5...3,0 мм, а для болтових – більше 3 мм. Для стикових з'єднань оболонок із товщиною матеріалу більше 8 мм доцільно застосовувати штифтоболтові з'єднання.

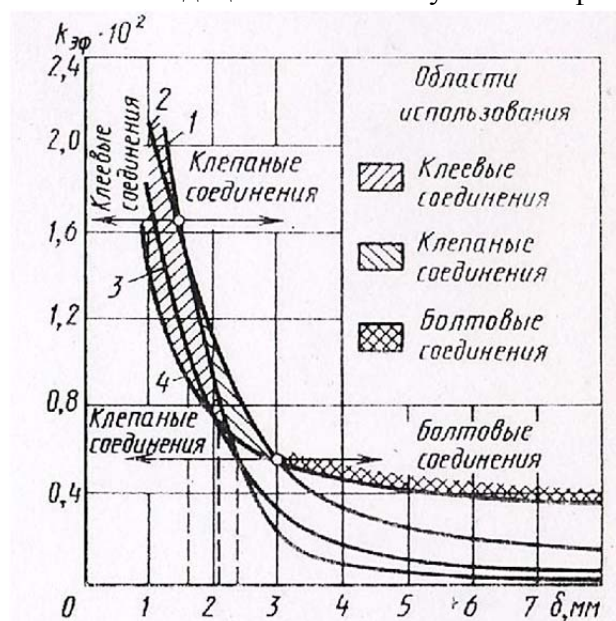


Рис. 9. Области ефективного застосування різних видів з'єднань композитів:

1 – клеєні; 2 – заклепкові; 3 – заклепково-клеєні; 4 – болтові

### Висновки.

1. Вибір та застосування виду з'єднання композиційних матеріалів залежить від типу навантажень (статичні або втомні), надійності, легкості у виробництві, вартості та від спеціальних умов (необхідності отримання розбірних, розсувних або інших видів з'єднань).

2. Механічні способи з'єднання доцільно застосовувати за наявності значних розшаровуючих напружень, коли необхідні особливі критерії надійності й у випадку обов'язкового періодичного розбирання конструкції, при цьому слід враховувати вплив появи у з'єднанні концентраторів напружень.

Адгезійні (клеєні) з'єднання забезпечують суттєве зниження концентрації напружень, що дозволяє підвищити межу міцності в умовах дії як статичних, так і динамічних навантажень, із одночасним зниженням маси конструкції і вартості вузлів з композиційних матеріалів.

### Список використаних джерел

1. Воробей В. В. Соединения конструкций из композиционных материалов / В. В. Воробей, О. С. Сироткин. – М. : Машиностроение, 1985. – 166 с.
2. Композиционные материалы: справочник / под ред. В. В. Васильева, Ю. М. Тарнопольского. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с.
3. Strauss E.L. How to Design Mechanical Joints / Materials in Design Engineering, February, 1963.
4. Справочник по композиционным материалам / под ред. Дж. Любина. – М. : Машиностроение, 1988. – 584 с.
5. Царахов Ю. С. Конструирование соединений элементов ЛА из композиционных материалов / Ю. С. Царахов. – М. : МАТИ, 1980. – 80 с.

6. Jungstrom O. L. Design Aspects of Bonded Structures / O. L. Jungstrom // Aircraft Bulletin, No. 4, Bonded Structures, LTD, Duxford, England, May 1959.
7. Bloomingdale Rubber Division of American Cyanamid Co., Handbook for Adhesives, 1957.
8. Catchpole E.J. Bonding and Sandwich Construction /Aeroplane and Astronautics, June, 1961.

### References

1. Vorobey, V.V., Sirotkin, O.S. (1985). *Soedineniia konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov* [Compound structures from composite materials]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
2. Vasilev, V.V. (ed.), Tarnopolskii, Yu.M. (1990). *Kompozitsionnye materialy: spravochnik* [Composite materials. Reference book]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
3. Strauss, E.L. (1963). How to Design Mechanical Joints. *Materials in Design Engineering*, February.
4. Liubin, Dzh. (ed.) (1988). *Spravochnik po kompozitsionnym materialam* [Handbook of composite materials]. Moscow: Mashinostroenie (in Russian).
5. Tsarakhov, Yu.S. (1980). *Konstruirovaniye soedineniiy elementov LA iz kompozitsionnykh materialov* [Construction of compounds of aircraft elements from composite materials]. Moscow: MATI (in Russian).
6. Jungstrom, O.L. Design Aspects of Bonded Structures. *Aircraft Bulletin*, No. 4, Bonded Structures, LTD, Duxford, England, May 1959.
7. Bloomingdale Rubber Division of American Cyanamid Co., Handbook for Adhesives, 1957.
8. Catchpole E. J. Bonding and Sandwich Construction. *Aeroplane and Astronautics*, June, 1961.

UDC 669.018:624.1

Gennadiy Bolotov, Maksym Bolotov, Iryna Nagorna

## FEATURES OF CONNECTION OF COMPOSITE MATERIALS IN MACHINE UNITS AND BUILDING STRUCTURES

**Urgency of the research.** Composite materials (CM) have a complex of properties that distinguish them from traditional construction materials (metals and alloys), and in combination open up wide opportunities, both for improving existing designs of various purposes, and for developing new designs.

**Target setting.** The process of manufacturing structures using composites consists of operations of connecting various elements into knots and aggregates. Constructive design of compounds of composite elements is characterized by considerable variety. Each connection has advantages and disadvantages and their choice depends on the nature and size of loads, the size of parts, physical and mechanical properties of materials, conditions of operation, cost. Hence there are technological problems when connecting parts with KM, connected, first of all, with the choice of the optimal method of connection.

**The research objective.** The aim of the work is to analyze the peculiarities of the main methods of combining fibrous composite materials on a polymeric basis and to determine the branches of their application for the construction of structures.

**The statement of the basic material.** Composite materials, in most cases, have insignificant deformations, so even their insignificant elongation can lead to local destruction of the composite already during the tightening of threaded joints or riveting during mechanical connection. The lamination of the composite structure leads to an overload of the CM layers adjacent to the adhesive layer and can cause their separation or delamination in adhesion bonding methods. These features should be considered when choosing the type of joints and assessing their strength.

Mechanical methods of connection is advisable to use in the presence of significant stratification stresses, when necessary special reliability criteria and in the case of mandatory periodic disassembly of the structure, while taking into account the effect of the appearance of the connection of stress concentrators..

Adhesive (laminated) connections provide a significant reduction in stress concentration, allow to increase the ultimate strength under conditions of both static and dynamic loads, while reducing the weight of the structure and the cost of assemblies of composite materials.

**Conclusions.** Selection and application of composite materials type depends on the type of loads (static or fatigue), reliability, facility of manufacture, cost and special conditions (the need for collapsible, sliding or other kinds of connections).

**Key words:** fibrous composite materials; polymer matrix; ways to connect; field of application.

Fig.: 9. Bibl.: 8.

УДК 669.018:624.1

Геннадий Болотов, Максим Болотов, Ирина Нагорная

## ОСОБЕННОСТИ СОЕДИНЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛАХ МАШИН И СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Приведены конструктивные особенности механических и адгезионных соединений волокнистых композиционных материалов на полимерной основе, определены основные условия их проектирования и область применения. Проведен анализ особенностей основных способов соединения волокнистых композиционных материалов на полимерной основе и определения отраслей их применения для создания конструкций.



**Ключевые слова:** волокнистые композиционные материалы; полимерная матрица; способы соединения; область применения.

**Рис.: 9. Библ.: 8.**

**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:** bolotovgp@gmail.com

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

**Болотов Максим Геннадійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (95, вул. Шевченка, 14027, м. Чернігів, Україна).

**Болотов Максим Геннадиевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (95, ул. Шевченко, 14027, г. Чернигов, Украина).

**Bolotov Maksym** – PhD in Technical Sciences, Seniore Lecturer 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:** bolotovmg@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0915-4132>

**Нагорна Ірина Вячеславівна** – асистент кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (95, вул. Шевченка, 14027, м. Чернігів, Україна).

**Нагорная Ирина Вячеславовна** – асистент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (95, ул. Шевченко, 14027, г. Чернигов, Украина).

**Nagorna Iryna** – assistant 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:** Zavalnaya89@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5075-8712>

УДК 620.179.4/.178.1:678.664;667.61:678.664

DOI 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-86-93

Антон Клименко, Володимир Анісімов, Володимир Ситар

## ВПЛИВ ТВЕРДИХ ШАРУВАТИХ НАПОВНЮВАЧІВ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ ФЕНІЛОНУ

**Актуальність дослідження.** Полімерні матеріали вже давно використовуються у багатьох галузях промисловості, вони часто використовуються як альтернатива металевим деталям. Водночас полімерні матеріали можуть перевіряти традиційні матеріали за деякими характеристиками, але поступаються за іншими. Нещодавно були розроблені полімерні матеріали з підвищеними адгезійними властивостями, тому актуальним завданням є вивчення їх фізико-механічних характеристик для оцінки перспектив їх використання у промисловості.

**Постановка проблеми.** Метою дослідження є визначення фізико-механічних характеристик полімерних матеріалів з високими адгезійними властивостями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Є багато досліджень фізико-механічних характеристик різних типів полімерів, також розроблені полімери з високими адгезійними характеристиками.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Є багато досліджень фізико-механічних характеристик полімерів, але не вистачає інформації про матеріали з підвищеними адгезійними характеристиками на основі фенілону.

**Мета дослідження.** Метою є експериментальне вивчення фізико-механічних властивостей композиційних покриттів на основі фенілону, зокрема різних видів міцності, еластичності, мікроструктури та ін.

**Виклад основного матеріалу.** В статті проводиться загальний аналіз полімерів на основі фенілону, показано необхідність вивчення їх фізико-механічних характеристик. Далі представлені результати експериментальних досліджень різних типів сили, пружності, мікроструктури тощо.

**Висновки.** Встановлено, що більша частина запропонованих наповнювачів призводить до збільшення таких параметрів, як мікротвердість, зносостійкість, модуль пружності та деяке зниження міцнісних характеристик. Показано появу конгломератів частинок на поверхні покриття при частці наповнювача >20 %, що викликає зниження експлуатаційних властивостей покриттів.

**Ключові слова:** покриття; фенілон; фізико-механічні властивості; наповнювач.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 6.

**Постановка проблеми.** Полімерні матеріали знайшли широке застосування у вузлах тертя сучасних машин і механізмів [1-6]. Використання полімерів дозволяє збільшити надійність та ресурс машин, покращити їх експлуатаційні, техніко-економічні характеристики і технологічність, відмовитися від дефіцитних сплавів кольорових металів і знизити вартість машин.

Серед інших, перспективною є технологія покриття деталей машин зносостійким полімером – фенілоном замість використання цільної деталі з кольорового сплаву, що приводить до значної економії на матеріалі. Проте для використання цієї технології необхідно забезпечити не тільки високі фізико-механічні показники полімерного покриття, а й хороші показники адгезії покриття до основного матеріалу.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Полімери використовуються як антифрикційний матеріал як у чистому вигляді, так і у вигляді композиційних матеріалів з різними наповнювачами [1; 3]. Прогресивним напрямком є їх використання у якості антифрикційне покриття [1].

Працездатність вузла тертя залежить від правильного вибору полімерного матеріалу, товщини функціонального шару, технологічних параметрів процесу формування покриття та багатьох інших факторів, які встановлюються з урахуванням умов і режимів експлуатації. Властивості фрикційних покриттів багато в чому визначаються складом композиції, змінюючи який можна у широких межах регулювати фрикційні характеристики.

Серед багатьох відомих полімерних матеріалів, за найбільш вдалим поєднанням властивостей для вузлів тертя, можна виділити ароматичні поліаміди [1–3]. Одним з перспективних термостійких полімерів триботехнічного призначення є ароматичний поліамід фенілон. Як антифрикційний матеріал фенілон використовується у важконавантажених вузлах тертя, які працюють при підвищених температурах.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Враховуючи достатньо високі значення коефіцієнта тертя фенілонового покриття (0,40-0,41), що

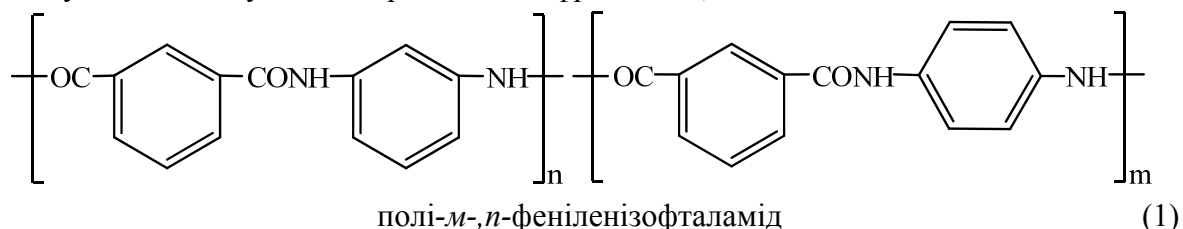
робить неможливим його використання у вузлах тертя, що працюють без змащування, до його складу вводять тверді шаруваті мастила, які широко використовуються для створення самозмащувальних матеріалів на основі полімерів: графіт, нітрид бору, дисульфід молібдену та фталоціанін міді.

Проте відомо [5], що поряд із високими показниками триботехнічних властивостей ароматичні поліаміди мають низьку адгезію до металів, що ускладнює отримання якісних покриттів. Зокрема, невідомий вплив твердих шаруватих наповнювачів на фізико-механічні властивості композиційних покриттів на основі фенілону.

**Мета статті.** Для практичного використання вищезазначених полімерних матеріалів, зокрема як антифрикційне покриття, необхідно дослідити їх фізико-механічні властивості, що і є метою цієї статті.

**Виклад основного матеріалу. Об'єкти та методики досліджень.** Об'єктами дослідження є ароматичний поліамід полі-*m*-,*n*-феніленізофталамід (фенілон С2), зокрема покриття з нього, та композиційні покриття на його основі, що містять функціональні наповнювачі.

Фенілон С2 (ТУ 6-05-226-72) являє собою лінійний гетероланцюговий полімер, макромолекули якого побудовані з ароматичних фрагментів, які з'єднані амідними зв'язками.



За зовнішнім виглядом – це високодисперсний порошок з розміром часток 20...40 мкм та насипною густиною 0,33 г/см<sup>3</sup>. Фенілон С2 отримують шляхом сумісної поліконденсації *m*-фенілендіаміну та *n*-фенілендіаміну з дихлорангідридом ізофталевої кислоти. Після синтезу має аморфну структуру з температурою склування  $T_{\text{ск}} = 290^\circ\text{C}$ , але в інтервалі температур 340...360 °C швидко кристалізується.

За комплексом фізико-механічних показників фенілон С2 перевершує переважну більшість промислових пластмас. Матеріали на його основі поєднують у собі високу тепло- і термостійкість, морозостійкість, міцність, жорсткість, хорошу пластичність, стійкість до ударних навантажень, високу втомну міцність, стабільність діелектричних характеристик, підвищену радіаційну й хімічну стійкість, та достатньо високу (до 260 °C) температуру тривалої експлуатації.

Як наповнювач використовували шаруваті тверді мастила, які широко використовуються для створення самозмащувальних матеріалів на основі полімерів: графіт, нітрид бору, дисульфід молібдену та фталоціанін міді. Обрані антифрикційні наповнювачі використовували у мілкодисперсному вигляді з розміром частинок 1...2 мкм. Вмістом наповнювача варіювали від 5 до 30 мас. %.

Полімерні покриття завтовшки 80...85 мкм отримували шляхом нанесення розчину фенілону на поверхню металевго субстрату, поверхню якого попередньо очистили та знежирили, з наступним випаровуванням розчинника шляхом сушки. Сушіння зразків здійснювали в сушильній шафі при температурі 145...200 °C протягом 30...60 хв. Температурно-часовий режим формування встановлювався виходячи з допустимої кількості залишку розчинника у складі покриття та його адгезійної міцності.

Перед нанесенням розчин перемішували в лопатевій лабораторній мішалці з частотою обертання 60 об/хв протягом двох хвилин. Розроблена методика приготування покриттів дозволяє отримати хороше розподілення наповнювача в об'ємі полімерної матриці (рис. 1).

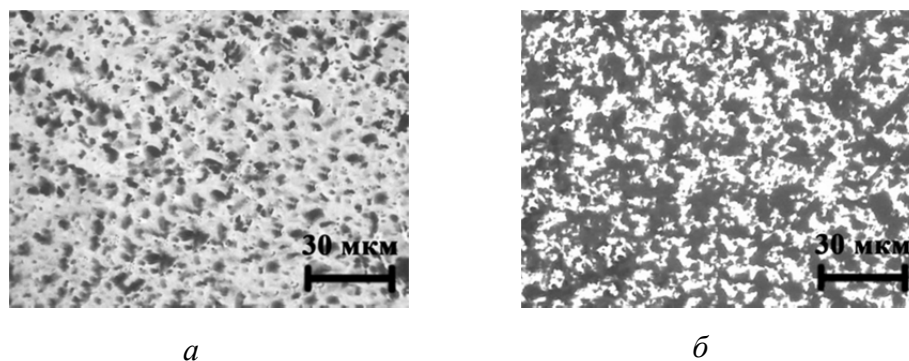


Рис. 1. Мікроструктура композиційних покриттів на основі фенілону, що містять у своєму складі антифрикційний наповнювач:  
а – графіт (5 мас.%); б – графіт (20 мас.%)

Мікроструктуру зразків полімерних покриттів вивчали за допомогою оптичного фотомікроскопа відбитого світла ПОЛАМ Р-312 при збільшеннях 450–500.

Мікротвердість покриттів ( $H_{\mu}$ ) вимірювали згідно з ГОСТ 9450-76 методом установаженого відбитку на приладі ПМТ-3. Сутність методу полягає у нанесенні на поверхню зразка відбитка під дією статичного навантаження, що прикладене до алмазного наконечника протягом певного часу.

Визначення рівня адгезії покриттів до субстрату здійснювали методом решітчастих надрізів за ГОСТ 15140-78 (ISO 2409).

Вимірювання межі міцності при розтяганні ( $\sigma$ ), відносного подовження ( $\epsilon$ ) при розриві та модуля пружності ( $E$ ) покриттів виконували відповідно до ГОСТ 18299-72 на розривній машині 2167 Р-50.

**Обговорення результатів досліджень.** Випробування досліджуваних покриттів методом решітчастих надрізів (таблиця) показали високий бал (1–2) для всіх зразків з вмістом наповнювача понад 15 %. Найвищий бал має фенілонове покриття з вмістом 20 % фталоціаніну міді у своєму складі.

Таблиця

Результати випробування покриттів з антифрикційними наповнювачами методом решітчастих надрізів

Вміст наповнювача, мас. %	Результати випробування, бал			
	Дисульфід молібдену	Графіт	Нітрид бора	Фталоціанін міді
5	4	4	4	4
10	3	3	3	3
15	2	2	2	2
20	1–2	1–2	1–2	1
30	2	2	2	2

Встановлено, що введення у склад фенілонового покриття обраних наповнювачів призводить до деякого зниження механічних характеристик композиційних покриттів на його основі. Результати дослідження залежності межі міцності при розтяганні фенілонового покриття від кількості наповнювача (рис. 2) показали, що збільшення вмісту наповнювача призводить до зменшення значень міцності.

Зниження міцнісних властивостей фенілонових покриттів при наповненні, пояснюється тим, що полімер не може забезпечити достатнього зв'язку з частинками наповнювача на границі їх розподілу. Різке падіння міцності композиційних покриттів спостерігається при вмісті наповнювачів у кількості >20 мас. %.

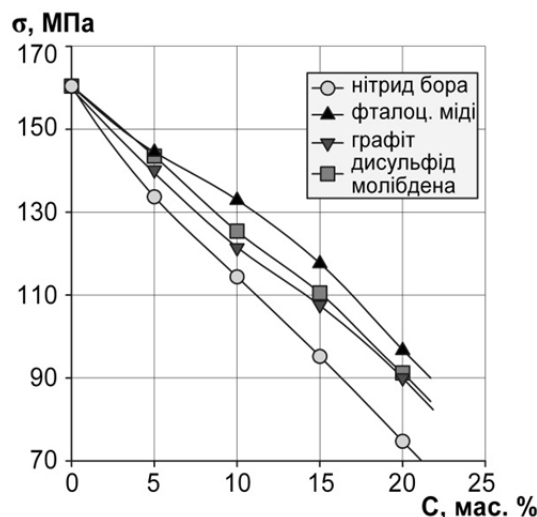


Рис. 2. Залежність межі міцності ( $\sigma$ ) при розтяганні від вмісту наповнювача ( $C$ ) у складі покриття

Встановлено вплив обраних наповнювачів і на деформаційні властивості композиційних покриттів на основі фенілону. Введення твердих частинок у фенілонове покриття призводить до обмеження рухливості надмолекулярних утворень та їх елементів в процесі деформування. У результаті чого підвищується їх опір до деформування та знижується величина відносного подовження при розтяганні (рис. 3).

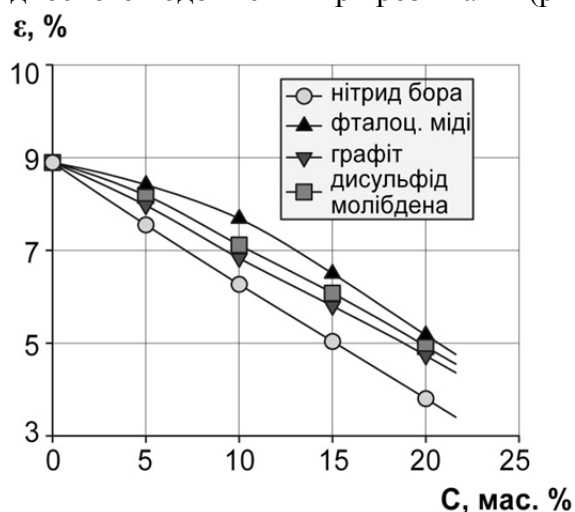


Рис. 3. Залежність відносного подовження ( $\epsilon$ ) від вмісту наповнювача ( $C$ ) у складі покриття

Ще одна причина підвищення опору композиційних фенілонових покриттів до деформування та зниження величини їх граничної деформації пов'язана з тим, що модуль пружності твердих частинок обраних наповнювачів значно вище модуля пружності полімеру і наповнювачі не здатні до таких великих деформацій, як полімер. Тому заміщення частини об'єму полімеру твердими частинками наповнювача викликає зростання модуля пружності композиційного покриття (рис. 4), чим підвищує його опір до деформування.

Слід зазначити, що для досліджуваних фракцій 1–2 мкм тип наповнювача практично не впливає на характер отриманих концентраційних залежностей як міцнісних, так і деформаційних властивостей композиційних покриттів. Це можна пояснити відсутністю або незначною хімічною взаємодією між частинками наповнювача та полімерною матрицею для всіх обраних антифрикційних домішок, а також однотипною шаруватою структурою всіх наповнювачів.

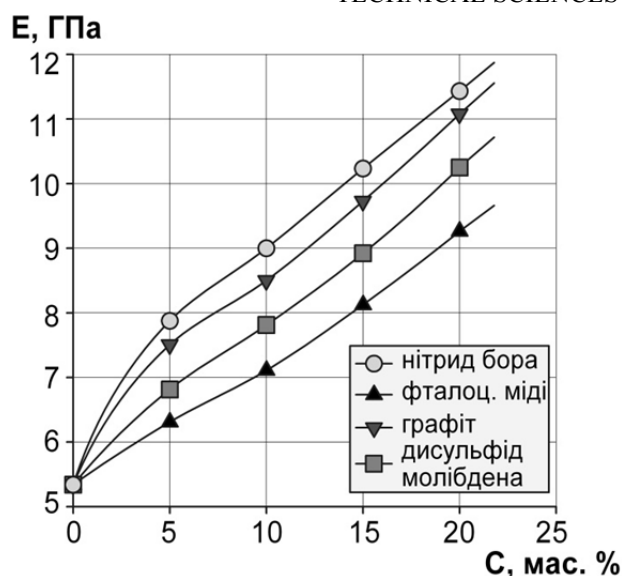


Рис. 4. Залежність модуля пружності ( $E$ ) від вмісту наповнювача ( $C$ ) у складі покриття

Важливим експлуатаційним параметром антифрикційного покриття є мікротвердість його поверхні. На рис. 5 представлена залежність мікротвердості композиційних покриттів від концентрації антифрикційного наповнювача.

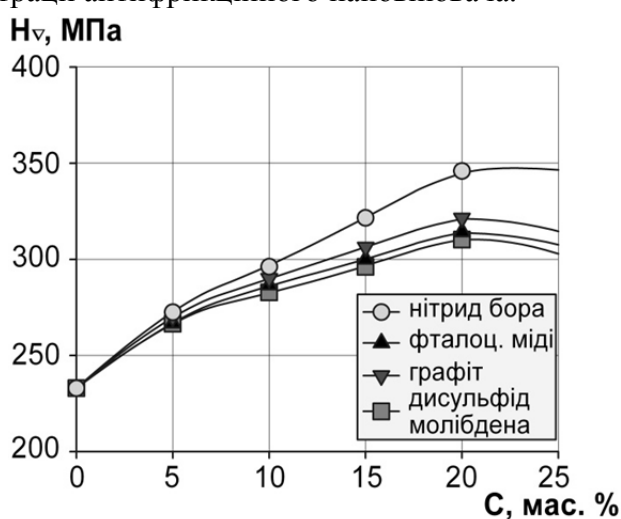


Рис. 5. Залежність мікротвердості ( $H_v$ ) від вмісту наповнювача ( $C$ ) у складі покриття

Встановлено, що збільшення концентрації наповнювача у складі покриття призводить до зростання мікротвердості, яке набуває свого максимального значення при вмісті наповнювача у кількості 20 мас.%. При подальшому збільшенні концентрації антифрикційного наповнювача у покритті мікротвердість починає падати.

Слід зауважити, що при вмісті наповнювача більше ніж 20 % на поверхні зразків можна спостерігати конгломерати з частинок наповнювачів. Відзначається також утворення на поверхні покриття мережевої структури, відомої як комірки Бенарда (рис. 6). Утворення такої структури пояснюється тим, що розчинник, який випаровується, піднімаючись з глибини покриття, захоплює із собою матеріал покриття. При цьому на одних ділянках нагору підіймається збагачений розчинником матеріал, на інших опускається збіднений з утворенням комірок, а зростання в'язкості перешкоджає вирівнюванню покриття, тобто виникає локальна різниця концентрацій компонентів покриття.

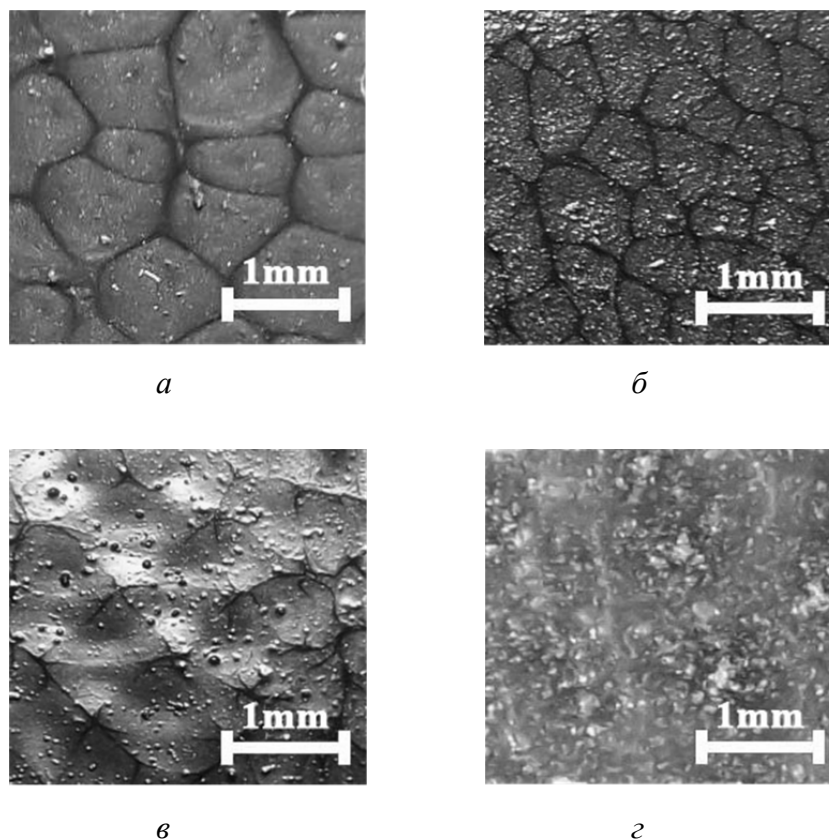


Рис. 6. Макроструктура поверхні композиційних покриттів на основі фенілону, що містять 30 мас.% наповнювача:  
а – дисульфід молібдену; б – графіт;  
в – фталоціанін міді; г – нітрид бору

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що гранично допустима кількість антифрикційного наповнювача у складі фенілонового покриття, з огляду на наявність технологічних дефектів, становить 20 мас.%.

**Висновки та пропозиції.** Встановлено, що введення у фенілонове покриття таких антифрикційних наповнювачів, як фталоціанін міді, дисульфід молібдена, графіт та нітрид бору призводить до збільшення таких показників, як мікротвердість, зносостійкість, модуль пружності та деякого зниження міцнісних характеристик.

Встановлено, що при формуванні композиційних покриттів, що мають у своєму складі >20 % наповнювача на поверхні покриттів виявляються конгломерати частинок, а також комірки Бенарда, що мають негативний вплив на комплекс експлуатаційних властивостей покриттів.

#### Список використаних джерел

1. *Полимерные композиционные материалы в триботехнике* / Ю. К. Машков, З. Н. Овчар, М. Ю. Байбарацкая, О. А. Мамаев. – М. : Недра, 2004. – 262 с.
2. *Термостойкие ароматические полиамиды* / Л. Б. Соколов, В. Д. Герасимов, В. М. Савинов и др. – М. : Химия, 1967. – 256 с.
3. *Коршак В. В. Термостойкие полимеры* / В. В. Коршак. – М. : Наука, 1969. – 391 с.
4. *Adhesion of polymers* / F. Awaja, M. Gilbert, G. Kelly, B. Fox, P. Pigram // *Progress in Polymer Science*. – 2009. – № 34. – Pp. 948–968.
5. *Pocius A. V. Adhesion and Adhesives Technology* / A. V. Pocius. – Carl Hanser Verlag, Munich, 2012. – 370 p.
6. *Yang H. H. Aromatic high-strength fibers* / H. H. Yang. – New York : Wiley, 1989. – 248 p.

## References

1. Mashkov, Iu.K., Ovchar, Z.N., Mamaev, O.A. (2004). *Polimernye kompozicionnye materialy v tribotekhnike [Polymer composites in tribotechnics]*. Moscow: Nedra (in Russian).
2. Sokolov, L.B., Gerasimov, V.D., Savinov, V.M. at al. (1967). *Termostoikie aromatcheskie poliamidy [Thermostable aromatic polyamides]*. Moscow: Khimiia (in Russian).
3. Korshak, V.V. (1969). *Termostoikie polimery [Thermostable polymers]*. Moscow: Nauka (in Russian).
4. Awaja, F., Gilbert, M., Kelly, G., Fox, B., Pigram, P. (2009). Adhesion of polymers. *Progress in Polymer Science*, no. 34, pp. 948–968.
5. Pocius, A.V. (2012). *Adhesion and Adhesives Technology*. Carl Hanser Verlag, Munich.
6. Yang, H.H. (1989). *Aromatic high-strength fibers*. New York: Wiley.

УДК 620.179.4/.178.1:678.664;667.61:678.664

Anton Klimenko, Volodymyr Anisimov, Volodymyr Sytar

**IMPACT OF SOLID SPHERICAL FILLERS ON PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITE COATINGS BASED ON PHENILONE**

**Urgency of the research.** Polymer materials have been used in many industries for a long time; they are often used as an alternative to metal parts. At the same time, polymeric materials can exceed traditional materials in some characteristics, but inferior in others. Recently, polymeric materials with increased adhesion properties have been developed, so the actual task is to study their physical and mechanical characteristics for estimation of their usage in industry perspectives.

**Target setting.** Target is the physical and mechanical characteristics of the polymer materials with high adhesive properties.

**Actual scientific researches and issues analysis.** There are many researches of physical and mechanical characteristics of different types of polymers; also, there are polymers with high adhesive characteristics developed.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There are many researches of physical and mechanical characteristics of polymers, but there are not enough information about materials with increased adhesion characteristics based on phenilone.

**The research objective.** The objective is an experimental study of the physical and mechanical properties of composite coatings based on phenilone, in particular various types of strength, elasticity, microstructure, etc.

**The statement of basic materials.** In the beginning of the article, the general analysis of phenilone-based polymers is performed and necessity of its physical and mechanical characteristics study is shown. Then results of various types of strength, elasticity, microstructure, etc. characteristics experimental studies are presented.

**Conclusions.** It is found, that insertion the most part of proposed fillers causes to increase of such parameters as micro-hardness, wear resistance, modulus of elasticity and some reduction of strong characteristics. An appearance of particle conglomerates on coating surface at filler part >20% is shown, that causes decrease of operational properties of the coatings.

**Key words:** coating; phenilone; physical and mechanical properties; filler.

Fig.: 6. Tabl.: 1. Bibl.: 6.

УДК 620.179.4/.178.1:678.664;667.61:678.664

Антон Клименко, Владимир Анисимов, Владимир Сытар

**ВЛИЯНИЕ ТВЕРДЫХ ШАРООБРАЗНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ФЕНИЛОНА**

Полимерные материалы давно используют во многих отраслях промышленности, часто в качестве альтернативы металлическим деталям. При этом по отдельным характеристикам полимерные материалы могут превышать традиционные материалы, но по другим уступать. Недавно разработаны полимерные материалы с повышенными адгезионными свойствами, поэтому актуальной является задача исследования их физико-механических характеристик для оценки перспектив использования в промышленности.

Статья посвящена экспериментальному исследованию физико-механических свойств композиционных покрытий на основе фенилона, в частности различных видов прочности, упругости, микроструктуры и др.

**Ключевые слова:** покрытие; фенилон; физико-механические свойства; наполнитель.

Рис.: 6. Табл.: 1. Библ.: 6.



**Клименко Антон Володимирович** – кандидат технічних наук, асистент кафедри машинобудування та інженерної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

**Клименко Антон Володимирович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49000, Украина).

**Klimenko Anton** – PhD in Technical Sciences, Assistant of Department of Machinery and Engineering Mechanics, State High Educational Department «Ukrainian State University of Chemical Technology» (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

**E-mail:** 03udhtu021990@ukr.net

**Анісімов Володимир Володимирович** – кандидат технічних наук, асистент кафедри машинобудування та інженерної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

**Анисимов Владимир Владимирович** – кандидат технических наук, ассистент кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49000, Украина).

**Anisimov Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Assistant of Department of Machinery and Engineering Mechanics, State High Educational Department «Ukrainian State University of Chemical Technology» (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

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

**Ситар Володимир Іванович** – кандидат технічних наук, професор кафедри машинобудування та інженерної механіки, Державний вищий навчальний заклад «Український державний хіміко-технологічний університет» (просп. Гагаріна, 8, м. Дніпро, 49000, Україна).

**Ситар Владимир Иванович** – кандидат технических наук, профессор кафедры машиностроения и инженерной механики, Государственное высшее учебное заведение «Украинский государственный химико-технологический университет» (просп. Гагарина, 8, г. Днепр, 49000, Украина).

**Sytar Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, professor of Department of Machinery and Engineering Mechanics, State High Educational Department «Ukrainian State University of Chemical Technology» (8 Gagarin Av., 49000 Dnipro, Ukraine).

## РОЗДІЛ III. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.4

DOI 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-94-100

Володимир Казимир, Денис Юрченко

### МЕТОД ДЕТЕКТУВАННЯ РУХУ ДЛЯ НЕСТАТИЧНИХ КАМЕР АБО ДЛЯ КАМЕР З ФУНКЦІЄЮ PTZ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку систем відеоспостереження орієнтовані на створення автоматичних функціональних комплексів, що володіють інтелектом. Виявлення областей руху в кадрі є фундаментальною проблемою цих систем. Тому існує потреба створення програмного забезпечення, яке виявляє зони руху в кадрі.

**Постановка проблеми.** У процесі розроблення таких систем розробникам доводиться вирішувати суперечність між обчислювальною складністю алгоритмів обробки, якістю створюваних зображень і апаратними можливостями сучасної обчислювальної техніки. Багатовимірний характер відеоінформації (координати, колір) накладає значні обмеження на швидкість і якість її обробки. Крім того, виявлення руху на мобільних камерах ускладнюється через постійну зміну фону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи технологію оптичного потоку та алгоритм SURF.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Підвищення швидкодії існуючих методів детектування зон руху по відеоряду низької якості.

**Постановка завдання.** Удосконалення методу детектування руху за допомогою нестатичних камер або камер з функцією PTZ у напрямку прискорення його роботи.

**Виклад основного матеріалу.** Виявлення зон руху в кадрі відбувається за допомогою стандартних бібліотек *opencv*. Для визначення зони руху використовується пара послідовних кадрів: попередній – об'єкт, поточний – сцена. Формування контурів об'єктів відбувається шляхом побудови відповідних гісторам.

**Висновки.** Запропонований метод дозволяє вдвічі прискорити процес виявлення зон руху по даним відеоряду нестатичних камер.

**Ключові слова:** виявлення руху; нестатичні камери; *opencv*; гістограма.

Рис.: 8. Бібл.: 15.

**Постановка проблеми.** Сучасні тенденції розвитку систем відеоспостереження орієнтовані на створення автоматичних функціональних комплексів, що володіють інтелектом. Виявлення областей руху в кадрі є фундаментальною проблемою цих систем, особливо у випадку використання нестатичних камер [1] або камер із функцією PTZ. Вирішення цієї проблеми сприятиме подальшому стеженню за об'єктами: визначанню параметрів їх руху, підрахунку кількості рухомих об'єктів у кадрі, встановленню їх взаємного розташування, а у багатьох випадках, у поєднанні з іншими методами, забезпечить економію обчислювальних ресурсів.

У деяких випадках виявлення руху може виконувати і роль допоміжного механізму. Так, наприклад, розпізнавання автомобільних номерів може відбуватися тільки для рухомих об'єктів у кадрі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема виявлення областей руху детально описана у двох відомих методах [2; 3]. Перший з них для детектування руху використовує технологію «оптичного потоку». Оптичний потік [4] – зображення видимого руху, що являє собою зсув кожної точки між двома зображеннями. По суті, він являє собою поле швидкостей, оскільки зрушення, з точністю до масштабу, еквівалентно миттєвій швидкості. Ця технологія привела до значних результатів в оптимізації алгоритму виявлення рухомих об'єктів, що дозволило використовувати її на мобільних пристроях. Другий метод використовує алгоритм SURF. Цей алгоритм дозволяє знаходити потрібний об'єкт у кадрі навіть тоді, коли він змінює розмір і нахилений під будь-яким кутом. Цей метод успішно використовувався для визначення рухомих областей на відеоряді, знятому за допомогою БПЛА, у тому числі він дає можливість передбачити положення рухомого об'єкта в наступному кадрі відеоряду [5].

Слід зазначити, що в розглянутих роботах як джерело відео виступає відео низької якості, що знижує надійність виявлення об'єктів руху. Крім того, в них пропонується використовувати алгоритм пошуку контурів (findcontours opencv), що знижує загальну швидкість методів розпізнавання.

**Метою статті** є опис удосконаленого методу детектування руху за допомогою нестатичної камери, який базується на пошуку ключових точок та дозволяє усунути недоліки існуючих підходів. Особлива увага приділяється зниженню обчислювальних витрат з метою подальшого використання цього методу у вбудованих системах комп'ютерного зору.

**Метод детектування руху.** Роботу методу можна продемонструвати на прикладі двох кадрів з відеоряду, які представлені на рис. 1.



Рис. 1. Приклади кадрів з відеоряду:  
а – сцена; б – об'єкт

Для виявлення руху використовуються два кадри з відеоряду: попередній кадр називається «об'єктом», а поточний – «сценою».

Особливу роль відіграють ключові точки – це точки зображення, що задовольняють певним властивостям:

- визначеність – особливість повинна виділятися на тлі сусідніх точок;
- стійкість – зміна яскравості, контрасту і колірної гами не повинні впливати на місце особливої точки на об'єкті або сцені;
- стабільність – зашумленість зображення, що не перевищує певний поріг, не повинна впливати на роботу детектора щодо цієї точки;
- інтерпретованість – особливі точки повинні бути представлені у форматі, придатному для подальшої обробки.

У загальному вигляді запропонований метод детектування областей руху на кадрі може бути представлений у вигляді алгоритму, наведеному на рис. 2.

Розглянемо більш детально окремі кроки цього алгоритму.

**Пошук ключових точок.** На цьому кроці використовується дескриптор Speeded up Robust Features (SURF) [6]. Він відноситься до числа тих дескрипторів, які одночасно виконують пошук особливих точок і будують їх опис, інваріантний до зміни масштабу та обертання. Крім того, пошук ключових точок є інваріантним також у тому сенсі, що нахилений об'єкт має той же набір особливих точок, що і сцена [7]. З огляду на те, що камери можуть бути встановлені на різних засобах пересування, таких як вертольоти і БПЛА, цей дескриптор підходить для вирішення цього завдання якнайкраще. У opencv вже є інструмент, який здатний знаходити ключові точки методом SURF – це метод SurfFeatureDetectorp[8]. Цьому методу передаються як параметри саме зображення і посилення на масив точок, в який буде зроблений запис знайдених ключових точок.



Рис. 2. Блок-схема детектування руху

**Пошук спільних точок.** На цьому кроці стоїть завдання пошуку спільних ключових точок з метою знаходження позиції об'єкта на сцені для подальшого його накладення на поточний кадр. Спільні точки – це ті ключові точки які присутні на сцені і на об'єкті.

Відповідності між дескрипторами знаходяться шляхом порівняння набору дескрипторів з першого зображення з набором дескрипторів з другого зображення. Для такого порівняння пропонується використовувати відомий метод BFMatcher [9]. Результат цього кроку наведено на рис. 3.

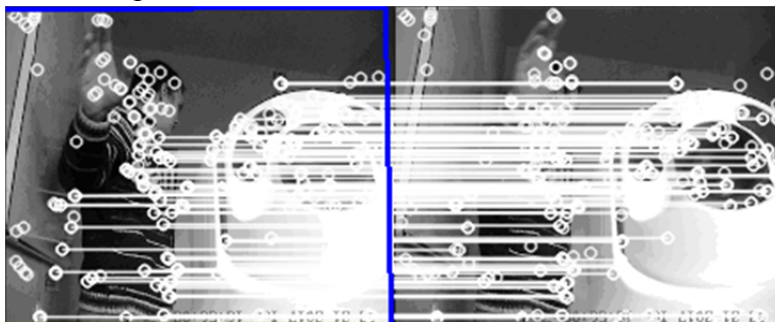


Рис. 3. Знаходження позиції об'єкта відносно сцени

**Накладення попереднього кадру на поточний.** Результати попереднього кроку використовуються для побудови гомографії.

Використовуючи набір ключових точок на цільовому об'єкті і зіставлений йому набір ключових точок у сцені, знаходиться відповідність між ними у вигляді матриці гомографії  $H$ . Знаходження позиції об'єкта на сцені відбувається шляхом порівняння дескрипторів, за допомогою яких ідентифікуються ключові точки. У свою чергу, дескриптори забезпечують інваріантність відповідності між точками щодо перетворень зображень. Чотири точки по краях цільового об'єкта відображаються на зображенні сцени за допомогою знайденого перетворення [9]. У результаті будуть отримані координати вершин об'єкта, на яких він має бути розташованим відносно сцени – об'єкт розміщується саме у ці межі за допомогою методу `warpPerspective` [10]. Оскільки знайдені вершини для об'єкта можуть знаходитися за межами сцени, потрібно спочатку створити тимчасове зображення з розміром, який може його вмістити, а вже потім поміщати в нього перетворений об'єкт. Розміщення об'єкта відносно сцени показано на рис. 4.



Рис. 4. Положення перетвореного об'єкта відносно сцени

**Детектування руху.** Після накладання об'єкта на сцену необхідно визначити абсолютну різницю цих двох кадрів і виявити, чи був рух у цей момент. Для цього використовується метод `absdiff` [11], який приймає на вхід два зображення і видає їх різницю у вигляді, показаному на рис. 5.



Рис. 5. Різниця об'єкта і сцени

Далі проводиться бінаризація зображення [14], а також його ерозія [15] для зменшення шумів. Це досягається шляхом використання, відповідно, методів `threshold` і `erode` [12].

На виході отримуємо результат, представлений на рис. 6.



Рис. 6. Результат бінаризації та ерозії

Ерозія дозволила позбавитися зайвих шумів, але це привело до зменшення реальної області руху. Щоб уникнути цього і відновити реальний розмір області руху був використаний метод dilate [13].

**Знаходження контурів об'єктів.** Виявлення контурів об'єктів відбувається шляхом побудови гістограм. Спочатку зображення розбивається на вертикальні смуги в товщину в 1 піксель. Далі вони перевіряються на наявність білих пікселів у ній. Якщо в смугі є білі пікселі, то призначається початкова координата ( $xS1$ ) майбутньої «обрізки». Далі у разі виявлення відсутності білих пікселів у смугі можна задати кінцеву координату «обрізки» ( $xE1$ ). Після проходження всього кадру проводиться вертикальна нарізка на смуги по отриманим координатам. Далі ці смуги обробляються таким же чином, але по горизонталі. Як результат, будуть отримані координати областей руху, показані на рис. 7.

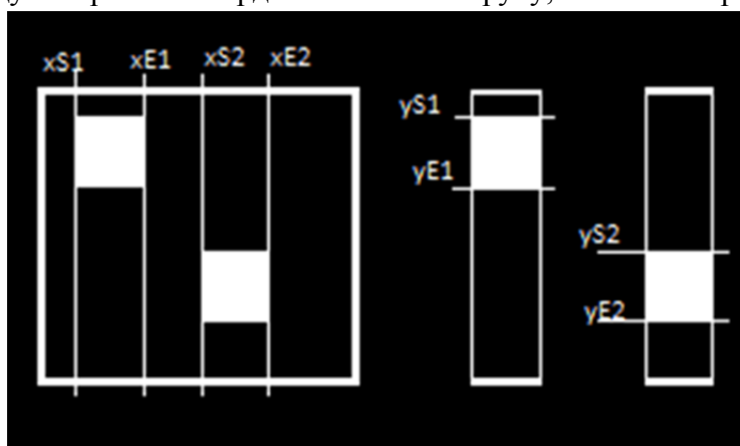


Рис. 7. Виділення областей руху з відповідними координатами

Важливо зазначити, що хоч цей метод і працює вдвічі швидше, ніж стандартний findcontours від opencv, але визначені області досить приблизні, а не точні, оскільки будуть мати контури прямокутної форми, як показано на рис. 8.

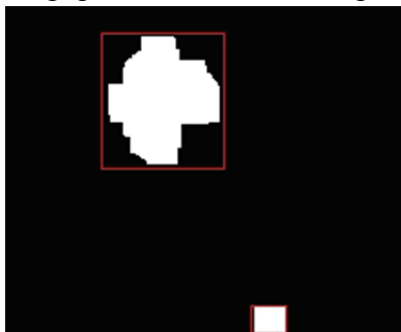


Рис. 8. Формування прямокутних контурів об'єктів

**Висновок.** Запропонований метод успішно справляється зі своїм завданням, а саме виявлення рухомих об'єктів за допомогою нестаціонарної камери. Використання гістограм для виявлення об'єктів дозволило прискорити його роботу – на обробку одного кадру запропонованим методом витрачається часу на 50 % менше у порівнянні зі стандартним методом, що підкреслює його ефективність, особливо у разі використання для обробки відеоданих від БПЛА.

#### Список використаних джерел

1. *Detection of Moving Objects with Non-Stationary Cameras in 5.8ms: Bringing Motion Detection to your Mobile Device* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://f4k.dieei.unict.it/proceedings/CVPR12/data/papers/workshops/4990a027.pdf>.
2. *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ieeexplore.ieee.org/document/6595847/>.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. *Moving object detection in unmanned aircraft images* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://volkansalma.blogspot.com.tr/2015/11/insansz-hava-arac-goruntulerinde.html>.
4. *То, что вы хотели знать про оптический поток, но стеснялись спросить* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habrahabr.ru/post/201306>.
5. *Motion detection on uav videos* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.youtube.com/watch?v=vMnpD-6PtmE>.
6. C4.5: Programs for Machine Learning Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo.
7. *Введение в разработку мультимедийных приложений с использованием библиотек OpenCV и IPP* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.intuit.ru/studies/courses/10621/1005/lecture/16983?page=2>.
8. *Feature Detection* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/features2d/feature\\_detection/feature\\_detection.html](http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/features2d/feature_detection/feature_detection.html).
9. *Common Interfaces of Descriptor Matchers* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://docs.opencv.org/2.4/modules/features2d/doc/common\\_interfaces\\_of\\_descriptor\\_matchers.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/features2d/doc/common_interfaces_of_descriptor_matchers.html).
10. *Geometric Image Transformations* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric\\_transformations.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric_transformations.html).
11. *Operations on Arrays* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://docs.opencv.org/2.4/modules/core/doc/operations\\_on\\_arrays.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/core/doc/operations_on_arrays.html).
12. *Miscellaneous Image Transformations* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/miscellaneous\\_transformations.html?highlight=threshold#threshold](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/miscellaneous_transformations.html?highlight=threshold#threshold).
13. *Image Filtering* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/filtering.html?highlight=dilate#cv2.dilate>.
14. *Бинаризация изображений: алгоритм Брэдли* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://habrahabr.ru/post/278435>.
15. *Morphological Transformations* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py\\_tutorials/py\\_imgproc/py\\_morphological\\_ops/py\\_morphological\\_ops.html](https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_imgproc/py_morphological_ops/py_morphological_ops.html).

### References

1. *Detection of Moving Objects with Non-Stationary Cameras in 5.8ms: Bringing Motion Detection to your Mobile Device*. Retrieved from <http://f4k.dieei.unict.it/proceedings/CVPR12/data/papers/workshops/4990a027.pdf>.
2. *2013 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops*. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/document/6595847>.
3. *Moving object detection in unmanned aircraft images*. Retrieved from <http://volkansalma.blogspot.com.tr/2015/11/insansz-hava-arac-goruntulerinde.html>.
4. *To, chto vy khoteli znat pro opticheskii potok, no stesnialis sprosit [What you wanted to know about the optical flow, but were shy to ask]*. Retrieved from <https://habrahabr.ru/post/201406>.
5. *Motion detection on uav videos*. Retrieved from <https://www.youtube.com/watch?v=vMnpD-6PtmE>.
6. C4.5: Programs for Machine Learning Morgan Kaufmann Publishers, San Mateo.
7. *Vvedenie v razrabotku multimediyinyh prilozheniy s ispolzovaniem bibliotek OpenCV i IPP [Introduction to the development of multimedia applications using libraries]*. Retrieved from <http://www.intuit.ru/studies/courses/10621/1005/lecture/16983?page=2/>
8. *Feature Detection*. Retrieved from [http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/features2d/feature\\_detection/feature\\_detection.html](http://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/features2d/feature_detection/feature_detection.html).
9. *Common Interfaces of Descriptor Matchers*. Retrieved from [http://docs.opencv.org/2.4/modules/features2d/doc/common\\_interfaces\\_of\\_descriptor\\_matchers.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/features2d/doc/common_interfaces_of_descriptor_matchers.html).
10. *Geometric Image Transformations*. Retrieved from [http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric\\_transformations.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/geometric_transformations.html).
11. *Operations on Arrays*. Retrieved from [http://docs.opencv.org/2.4/modules/core/doc/operations\\_on\\_arrays.html](http://docs.opencv.org/2.4/modules/core/doc/operations_on_arrays.html).
12. *Miscellaneous Image Transformations*. Retrieved from [http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/miscellaneous\\_transformations.html?highlight=threshold#threshold](http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/miscellaneous_transformations.html?highlight=threshold#threshold).

13. *Image Filtering*. Retrieved from <http://docs.opencv.org/2.4/modules/imgproc/doc/filtering.html?highlight=dilate#cv2.dilate>.

14. *Binarizatsiya izobrazheniy: algoritm Bredli [Binarization of images: the Bradley algorithm]* (2016). Retrieved from <https://habrahabr.ru/post/278435>.

15. *Morphological Transformations*. Retrieved from [https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py\\_tutorials/py\\_imgproc/py\\_morphological\\_ops/py\\_morphological\\_ops.html](https://docs.opencv.org/3.0-beta/doc/py_tutorials/py_imgproc/py_morphological_ops/py_morphological_ops.html).

UDC 004.4

Volodymyr Kazymyr, Denis Yurchenko

## THE METHOD OF MOTION DETECTION FOR MOBILE CAMERAS OR FOR CAMERAS WITH PTZ FUNCTION

**Urgency of the research.** Modern trends in the development of video surveillance systems focus on the creation of automatic functional complexes with intelligence. Detection of the areas of motion in a frame is a fundamental problem of these systems. Therefore, there is a need to create software that detects areas of motion in the frame.

**Target setting.** By developing such systems, developers have to solve the contradiction between the computational complexity of processing algorithms, the quality of images created and the hardware capabilities of modern computing. The multidimensional nature of video information (coordinates, color) imposes significant limitations on the speed and quality of its processing. In addition, motion detection on mobile cameras is complicated due to constant background change.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications, including optical streaming technology and the SURF algorithm, were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Increasing the speed of existing methods of detecting traffic zones on the video of low quality.

**The research objective.** Improvement of the method of detecting motion using non-static cameras or cameras with PTZ function in the direction of accelerating its operation.

**The statement of basic materials.** Detection zone of motion in the scene comes with standard libraries openCV. To determine the zone of motion, a pair of sequential frames are used: the previous one - the object, the current one - the scene. Forming contours of objects occurs by constructing the corresponding histograms.

**Conclusions.** The proposed method allows twice accelerating the process of detecting traffic zones by the given video of non-static cameras.

**Key words:** motion detection; non-static cameras; openCV; histogram.

Fig.: 8. Bibl.: 15.

УДК 004.4

Владимир Казимир, Денис Юрченко

## МЕТОД ДЕТЕКЦИИ ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ НЕСТАТИЧНЫХ КАМЕР ИЛИ ДЛЯ КАМЕР С ФУНКЦИЕЙ PTZ

В статье описан усовершенствованный метод надежного и быстрого обнаружения движения объектов по данным видеоряда. Для первичной обработки изображений предлагается использовать стандартные библиотеки *opencv*, встроенные в программное обеспечение динамических систем видеонаблюдения. Поиск контуров объектов осуществляется путем построения гистограмм контрастных изображений выделенных областей движения.

**Ключевые слова:** обнаружения движения; нестатические камеры; *opencv*; гистограмма.

Рис.: 8. Библ.: 15.

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Казимир Владимир Викторович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, professor, Vice-Rector for scientific work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

**ResearcherID:** Q-2925-2016

**Юрченко Денис Юрійович** – аспірант, асистент кафедри ІКС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Юрченко Денис Юрьевич** – аспирант, ассистент кафедры ИКС, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Yurchenko Denis** – Phd student, assistant of Department of IKS, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).



*Ruslan Zarovsky, Andrii Radchenko*

## ARCHITECTURE OF SOFTWARE FOR VIDEO SURVEILLANCE SYSTEMS WITH DIFFERENT TYPES OF CAMERAS

**Urgency of the research.** Usually, the software that performs NVR functions on a normal PC is suitable only for certain types of cameras. Accordingly, the use of cameras from many manufacturers in the video surveillance system leads to use a large number of different software. This creates inconvenience to the user because for performing necessary functions (viewing, recording video, etc.) on different cameras it is necessary to run various software. Therefore, there is a need of creation software that would support different types of cameras.

**Target setting.** Non-optimal implementation of software architecture that supports devices of different manufacturers can lead to difficulty in understanding of source code, non-optimal use of network resources and so on. Thus, there is a problem of proper construction of the software architecture in order to eliminate these problems.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis of publications allows revealing the general tendencies of building video surveillance architectures, among which decreasing networking and storage costs. Reduction of network costs implies the use of special measures to minimize the total size of transmitted media data. This can be achieved through a video surveillance system architecture that eliminates the retransmission of the same information and in general minimizes the exchange of information in the IP network of video surveillance. So, in publications describes the architecture of a video surveillance system, but not software architecture for such systems.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Now there is no open software architecture that support the IP cameras from different manufacturers.

**The research objective.** The objective of this paper is to describe the architecture of software that supports IP cameras and NVRs from leading Chinese manufacturers, such as Hikvision, Dahua, UniView, Aevision, as well as devices that operate on universal protocol Onvif.

**The statement of basic materials.** The architecture that works with different types of cameras should be designed accordingly. First of all it is necessary to build architecture at the level of logical components and then at the level of functional components. Software architecture at the level of logical components consists of Screen, VideoPlayer, VideoSchedule, CameraView, ModulesContainer and VideoSender components. Software architecture at the level of functional components consists of Screen, VideoPlayer, VideoSchedule, CameraView, ModulesContainer, VideoSender, FrameSourcer, FrameSaviour and Logger components.

**Conclusions.** The proposed architecture allows using many types of cameras in single software, which is much more convenient than using many programs for many types of cameras. It minimize network load by using only one video stream from one channel, allows to connect all the channels of devices of supported manufacturers and to use all necessary functions for video surveillance systems of supported IP cameras. It does not lead to the redundancy of the source code or its great complexity. Thus, software is not difficult to maintain and add new functionality.

**Key words:** software; software architecture; video surveillance; IP camera.

Fig.: 3. Bibl.: 14.

**Introduction.** In the modern world, video surveillance systems are becoming widespread, the role and importance of which is difficult to overestimate. Such systems consist of a set of hardware and software that include:

- IP surveillance cameras [1];
- video display devices (monitors, video walls and etc.);
- video recorders (DVR, NVR [2]) and/or intelligent software that performs a similar function as NVR, but on a normal PC.

Usually, the software that performs NVR functions on a normal PC is suitable only for certain types of cameras. Accordingly, the use of cameras from many manufacturers in the video surveillance system leads to use a large number of different software. This creates inconvenience to the user because for performing necessary functions (viewing, recording video, etc.) on different cameras it is necessary to run various software. Therefore, there is a need of creation software that would support different types of cameras.

Non-optimal implementation of architecture of software that supports devices of different manufacturers can lead to:

- difficulty in understanding of source code, that lead to a high cost of its modification and addition of new functions;
- redundancy of source code;
- non-optimal use of network resources, that is expressed in the receipt of multiple video streams from a single video channel;

- non-optimal use of PC resources, that is expressed in the multiple decoding of one video stream or multiple decoding of video streams from one channel;
- limitation of video channels count that can be connected from NVRs by software.

Thus, there is a problem of proper construction of the software architecture in order to eliminate the above-mentioned problems.

**Analysis of recent research and publications.** There are too few research and publications on this matter that are in open access since the development of such software is carried out by a large corporate sector (which regard information about it's software as a trade secret) or small companies (which do not spend time on the development of documentation and its publication).

In [3] describes the architectures of video surveillance systems, compares them, points out advantages and disadvantages. Also mentioned the software functions that reduce the load on computers and improve the functioning of video surveillance systems: cluster organization of servers, restart in case of failures, support of various video streams, using hardware decoders, support multitasking, optimizing video streams by using a computer as a gateway.

In [4] the reasons of wasting network resources in video surveillance systems are named, as well as software functions that reduce the network load and reduce the total cost of video surveillance systems. Among such functions it is possible to select the following: the use of multicast video streaming instead of unicast, the receipt of video streams of different resolutions, the automatic determination of the quality of the desired video stream and the caching of video stream in the event of its transfer from the server.

In [5] five different system architectures of video surveillance are described, its advantages and shortcomings are mentioned.

In [6] describes the design and optimization of a wireless video surveillance system, specifies the criteria for selecting cameras, hardware and software for such a system, describes the architecture of the wireless surveillance system, as an example shows the physical location of the cameras, describes the software that was implemented for such a system, describes experiments to determine the parameters of cameras for optimizing the load on the network, hardware and software.

In [7] describes designing, development, integration and delivery of Intel technology-based digital security and surveillance systems. Technical information and design support including recommended system components, technical requirements and specifications is mentioned.

The analysis of publications allows revealing the general tendencies, among which: decreasing networking and storage costs of surveillance system. Reduction of network costs implies the use of special measures to minimize the total size of transmitted media data. This can be achieved through a video surveillance system architecture that eliminates the retransmission of the same information and in general minimizes the exchange of information in the IP network of video surveillance.

So, in publications describes the architecture of a video surveillance system, but not software architecture for such systems.

**The goal of the article.** The objective of this paper is to describe the architecture of software that supports IP cameras and NVRs from leading Chinese manufacturers, such as Hikvision [8], Dahua [9], UniView [10], Aevision [11], as well as devices that operate on universal protocol Onvif [12].

**Basic concepts for the building of software architecture.** The software for video surveillance systems must provide the following functions:

- simultaneous viewing many video streams from cameras or NVRs in real time;
- obtaining data of various events from devices (motion detection, alarm, etc);
- displaying events data;
- recording a video stream on a hard drive on the user's request;
- recording a video stream on a schedule and events like motion detection and alarm;
- saving images from a video stream;

- playback saved video streams;
- transferring a video stream and event's data from connected devices to some client's software.

Software architecture must also support intelligent modules, such as license plate recognition module, face detection module, persons counting module, module for counting abandoned objects, etc for solving specific practical problems without modification of software source code.

Each manufacturer provides unique libraries, which allow interacting with their devices. These libraries include a set of functions that can be used by video surveillance system software. The exception is *onvif* protocol, which is the result of an international organization of Open Network Video Interface Forum (ONVIF) work for creating a standardized protocol for interaction with devices of different manufacturers. For interaction with devices that use this protocol, the library similar to the libraries of manufacturers must be developed.

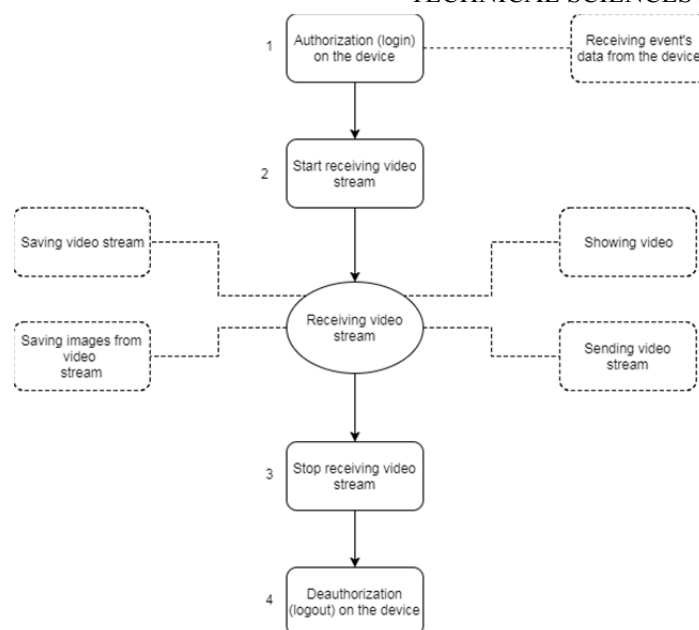
The main functions provided by the manufacturer's libraries, which are needed for creating intelligent surveillance system software with the requirements described above, are the following:

- authorization/deauthorization on the device;
- receiving and displaying a video stream;
- receiving a video stream without displaying it;
- recording a video stream;
- playback of stored video stream;
- saving images from a video stream;
- receiving data (encoded frames) from a video stream through the callback function;
- displaying received data of a video stream from the corresponding callback function;
- obtaining events from devices via callback functions;
- obtaining decoded frames via callback functions;
- obtaining individual frames from video stream;
- displaying data on a top of a video stream (for recognition of license plate's, highlighting objects, etc).

Therefore, all the functions, except the sending of video stream, are present in the libraries provided by manufacturers.

The total sequence of actions for interacting with devices taking into account a predetermined functional is as follows (see Fig. 1, optional actions are shown in dotted lines):

- authorization on the device;
- event's data retrieving if necessary;
- start receiving video stream;
- performing appropriate action with a video stream (display it, save images, recording to hard drive);
- stop receiving video stream;
- logout on the device.



*Fig 1. The sequence of actions for interaction with devices*

Each device in a video surveillance system has a one (IP camera) or more (NVR) video channels. Each video channel has at least two video streams – primary and secondary. The primary video stream has a high resolution and excellent picture quality. The secondary one – low resolution and worse, compared to the primary stream, picture quality.

**Logical and functional components.** Now, software is rarely developed from scratch. As a rule, for performing necessary functions existing libraries are used in order to reduce development time and the final cost of the application.

Typically, the libraries that are used in the application do not affect its architecture, however in this case the researches showed that the libraries of the manufactures work differently, and that it is impossible to construct effective architecture of the software without regard to their work.

Therefore, the development of software architecture for video surveillance systems consists of two stages. At the first stage, the so-called logical components of the architecture are allocated, which do not take into account the work of manufacturer's libraries, with the goal of splitting the application into separate modules that perform necessary functions. At the second stage, the so-called functional components are allocated, which take into account the work of manufacturer's libraries and form the final architecture of the application.

#### **The software architecture at the level of logical components.**

In Windows to display a video stream from specific device it is needed to pass the window object handle to a corresponding library. Since there must be the ability to display up to 64 video streams and the ability to display events from corresponding IP cameras, one of the components of the architecture must be a component "Screen" that will show the video stream and information about events. In addition, this component should be responsible for user interaction with the software (start recording, stop recording, save the image from the video stream, etc).

One of the components of the architecture must be a component that is responsible for the recording of video streams according to a schedule or event. This component must work on separate thread for each camera, which has a set up schedule. These threads will enable or disable recording, depending on the schedule settings, the current time and events on the respective device. The component with the described functionality will be called "VideoSchedule".

To transfer the video stream to other software it is necessary to allocate a separate component. As "VideoSchedule", this component must work on a separate thread for each camera, from which it is necessary to transfer the video stream. This component will be called "VideoSender".

For the functioning of intelligent modules, a component which will upload and store them in a special list is required. This component will be called “ModulesContainer”.

The above components should not interact directly with manufacturer’s libraries for performing the appropriate actions, since it will lead to the redundant source code. To eliminate this redundancy the architectural pattern “mediator” can be used [13]. The essence of such pattern is in the introduction of an additional component, which will be located between components and libraries of manufacturers. Such component will be called “CameraView”. This component must call the appropriate library function to perform a certain action. For example, to display a video stream the authorization function and video receive function with window handle as parameter must be invoked, for storing video – the authorization function, the function of receiving a video stream and the function of preserving a relevant video stream. Also, this component should interact with “ModulesContainer” to create module’s objects for each video stream, and should call necessary functions in order to receive the video frame and draw data on the displayed stream by module’s objects. Actually “CameraView” should encapsulate various realizations of SDK’s functions for obtaining the required data for the functioning of the modules.

The last necessary logical component is the component responsible for playing of stored video streams. It will be called “VideoPlayer”. To display the stored video on the screen, it can be used the “Screen” component. The interaction between “VideoPlayer” and libraries will not lead to the redundancy of the source code because except this one there are no more components that interact with the functions for playing stored video streams.

The software architecture at the level of the logical components shows in Fig. 2. The arrows show the direction of the interaction between the individual components. The arrow between the “manufacturer’s libraries” and “VideoSender” means data transfer to the component by the libraries via calling installed callback functions.

Shown in Figure 2 architecture has certain drawbacks.

Firstly, library functions of all manufacturers are not able to parallelize the incoming video stream from the device to reduce network load. Because of this, the number of video streams of one channel retrieving simultaneously from the device can reach four: one stream for playing and for recording on the user demand, two video streams for event recording with prerecord and one for sending a video stream to other software. Implementation of prerecording requires two video streams because libraries do not support circumscision of the stored video stream. That is why prerecording with a one video stream becomes impossible. Four video streams from a device quadruple the load on the network. When using a primary video stream with a bit rate of 4 Mbit/s it would be 12 Mbit/s on the network. When at least 10 cameras are connected, the software work will require a gigabit network. Moreover, each intelligent module requires a separate video stream. So, if software, for example, have 5 modules, then a video stream with a bit rate of 4 Mbit/s would require at least 20 Mbit/s network speed. Thus, such architecture creates a large exceed load on the network.

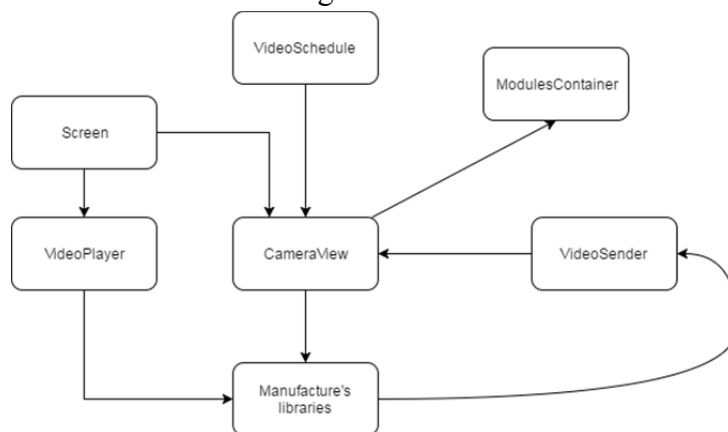


Fig. 2. The software architecture at the level of the logical components

Secondly, it was found that although the library's API is similar, its functions performing differently. For example, Dahua manufacturer libraries require authorization every time when it is necessary to receive a video stream. Because of this, it is impossible to login on the device once and receive video streams from different device channels. Libraries of other manufacturers do not have the authorization limit and it allows receiving a video stream from multiple channels with one authorization. It was also found that Aevision's devices do not support more than 16 per device authorizations from one IP address. This means that if implement the architecture that is shown in Figure 2, the maximum number of channels from which a video stream can be received from Aevision's device are 16. This limits the use of such software architecture with Aevision's devices.

**The software architecture at the level of the functional components.** For the above reasons it is necessary to create architecture at the level of functional component. Such architecture must allow:

- use one video stream for any purpose from a single video channel;
- receive video streams from all device channels;
- simplify the implementation of “CameraView” component.

Any interaction with device starts with the authorization process and ends with the process of unauthorization. Since manufacturer's libraries implement the authorization process differently, it is necessary to encapsulate it from the rest of the architectures to ensure its extensibility and to obtain all the streams available on the device. The component responsible for the authorization encapsulation will be called “Logginer”. It must return the handle of the appropriate authorization on the device. Thus, for Dahua devices this component, every time when referring to it, must login to the device and return the new handle of authorization. For other types of devices it login on specific device only once and store the appropriate handle which is available at any time.

After authorization a lot of functions for work with device are available, including setting of callback functions for receiving data of events from the devices. In fact, it is needed only once to set such function for appropriate device for receiving all events. From the fact that for all vendors except Dahua authorization should be carried out only once and that the callback function for receiving events must be set only once follows that the easiest way to implement the receipt of all events is to implement callback functions in the component that is responsible for the authorization on device. Implementation of an additional component for obtaining information about the events will lead to the needing of implementation the interaction with the “Logginer” that would complicate the system architecture.

One of the requirements of the architecture is the requirement that only one stream per channel must be receiving from the device in order to avoid an excessive load on the network. For this, it is necessary to create a component – the source of the video data that will receive the video stream's data and transmit it to all the necessary components of the software. This component will be called “FrameSourcer”. Components that require a video stream from a particular device must “subscribe” to the appropriate video stream and pass to this component the callback function that will be called every time when new data from the respective device has arrive. If a component is “signed” on the video stream, which still does not come from the device, then “FrameSourcer” asks “Logginer” component for authorization descriptor, calls the specific library function for receiving a video stream and passes to it its own callback function that will be called every time when library gets a new bit of data. This “FrameSources's” callback function must call the callback functions of those components that have subscribed to the corresponding video stream. Also it makes sense to pass to this component the relevant callback functions which are intended to receive events from the device. “FrameSources” should not work with these functions but must pass it to “Logginer” component. This will lead to encapsulation of “Logginer” component and its use only by “FrameSourcer”. Thus, other components of the architecture will not be aware of the presence

of any component for obtaining data from a device except “FrameSourcer”. This will facilitate the interaction of various components of the architecture.

Receiving the video stream by only one component and its paralleling lead to the disappearance of excessive load on the network. However, this solution has a disadvantage. While the data is being processed by one function, the others are waiting for completion of it. Therefore, if the callback function of any component will process income data for too long then the software will freeze. Because of this, all the callback functions should be implemented so that the data are processed as quickly as possible.

For recording a video stream to the file the library’s functions can be used. However, in such case the device starts transmit the video stream over a network regardless of whether it already comes from the device or not. To eliminate redundancy of video streams the “FrameSourcer” component must be used. It was found that the saved video stream via the library functions of such manufacturers as Dahua, Hikvision and Aevision is the data which come in a callback function that receives the video stream. As described above, this function is set in the component “FrameSourcer” and calls all of the functions that have been “signed” for the corresponding video stream. Therefore, for saving the video stream of these manufacturers it is necessary to save the data that was transferred by “FrameSourcer” to the corresponding callback function.

Since the video stream saving is a separate feature, it makes sense to create a separate component for it. This component will be called “FrameSaviour”. The objectives of this component are obtaining data from “FrameSourcer” and saving it to a file. In addition, with the objective of reducing the load on the hard drive of this component, it makes sense to use an intermediate buffer which must store data before writing it on the disk. The size of this buffer must be larger than the size of the data coming, but not very large to avoid ram over usage (because all 64 channels can be recorded). It was found that the maximum size of the incoming data at a resolution 2048x1536 is about 200 kb (coded I-Frame [14]). So the size of the buffer has been selected 2 MB taking into account bigger bitrate and bigger resolution. In the worst case – when recording 64 video streams at the user’s request and 64-event streams with prerecord – it will use 384 MB of RAM.

Because of “FrameSourcer” the functionality of the “CameraView” component must be changed. Now, this component should not access the libraries directly but must access a “FrameSourcer” component for receiving video stream in order to eliminate the excess load on the network. As for playing the received video data, the manufacture’s libraries have functions for showing it. In addition, theirs should be used. In addition, this component should also be responsible for saving the image in a separate file from the video stream. Besides, it should take the frames through the setting callback functions and transfer theirs into modules for further processing.

Received events from devices must be captured and processed. Since “FrameSourcer” component encapsulates “Loginner” component, which actually received events from devices and send it to other components, it is necessary refer to “FrameSourcer” component for obtaining information about events.

Is this architecture there is no sense to implement the interaction between the “VideoSender” components and “CameraView” because in such case “CameraView” will act as an intermediary and will not do any necessary functions. So, it makes sense to implement the interaction between “VideoSender” component and “FrameSourcer” component directly.

The software architecture at the level of the functional components are shown in Figure 3.

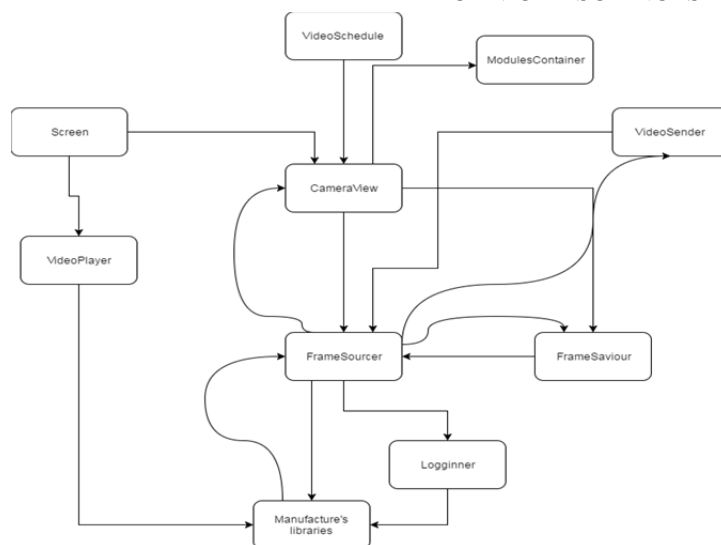


Fig. 3. The software architecture at the level of the functional components

**Conclusions.** The proposed architecture allows using many types of cameras in single software, which is much more convenient than using many programs for many types of cameras. It minimize network load by using only one video stream from one channel, allows to connect all the channels of devices of supported manufacturers and to use all necessary functions for video surveillance systems of supported IP cameras. It does not lead to the redundancy of the source code or its great complexity. Thus, software is not difficult to maintain and add new functionality.

### References

1. *What is IP camera?* Retrieved from <http://www.proximas.ru/ip-camera.html>.
2. *What is NVR?* Retrieved from <http://inprog.kz/news/что-такое-nvr/>.
3. *Some aspects of the design of IP-surveillance systems.* Retrieved from <http://www.algorithm.org/arch/arch.php?id=73&a=1716>.
4. *Decreasing Networking and Storage Costs of Your IP Video Surveillance System.* Retrieved from <https://www.securitymagazine.com/ext/resources/whitepapers/Genetec-Bandwidth-Management-White-Paper.pdf>.
5. *Architecture of video surveillance systems based on IP networks.* Retrieved from [http://www.dipolnet.com/architecture\\_of\\_video\\_surveillance\\_systems\\_based\\_on\\_ip\\_networks\\_bib701.htm](http://www.dipolnet.com/architecture_of_video_surveillance_systems_based_on_ip_networks_bib701.htm).
6. *Design and Optimization of the VideoWeb Wireless Camera Network.* Retrieved from <https://jivp-eurasipjournals.springeropen.com/articles/10.1155/2010/865803>.
7. *Building Digital Security & Surveillance Systems Based on Intel Technology.* Retrieved from <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/presentation/dss-systems-intel-technology-guide.pdf>.
8. *HikVision.* Retrieved from <http://www.hikvision.com>.
9. *Dahua.* Retrieved from <http://www.dahuasecurity.com>.
10. *Uniview.* Retrieved from <http://en.uniview.com>.
11. *Aevision.* Retrieved from <http://www.aevision.com.cn>.
12. *Onvif protocol.* Retrieved from <http://www.onvif.org>.
13. *Pattern "Mediator".* Retrieved from <http://cpp-reference.ru/patterns/behavioral-patterns/mediator>.
14. *Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard.* Retrieved from [http://ip.hhi.de/imagecom\\_G1/assets/pdfs/csvt\\_overview\\_0305.pdf](http://ip.hhi.de/imagecom_G1/assets/pdfs/csvt_overview_0305.pdf).

УДК 004.4

Руслан Заровський, Андрій Радченко

### АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВІДЕОСПОСТЕРЕЖЕННЯ З РІЗНИМИ ТИПАМИ КАМЕР

**Актуальність теми дослідження.** Зазвичай програмне забезпечення, яке виконує функції NVR на звичайному ПК, підходить тільки для певних типів камер. Відповідно, використання камер багатьох виробників у системі відеоспостереження призводить до використання великої кількості різних програм. Це створює незручності для користувача,



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тому що для виконання необхідних функцій (перегляду, запису відео та ін.) на різних камерах необхідно запускати різне програмне забезпечення. Тому існує потреба створення програмного забезпечення, яке підтримує різні типи камер.

**Постановка проблеми.** Неоптимальна реалізація архітектури програмного забезпечення, яке підтримує пристрої різних виробників, може призвести до ускладнення розуміння вихідного коду, не оптимального використання мережесих ресурсів тощо. Таким чином, існує проблема побудови відповідної архітектури програмного забезпечення для усунення цих проблем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій дозволив виявити загальні тенденції при побудові архітектур систем відеоспостереження, серед яких зменшення витрат на створення мережі та зберігання даних. Зменшення мережесих витрат передбачає застосування спеціальних заходів для мінімізації загального обсягу переданих мультимедійних даних. Це може бути досягнуто завдяки архітектурі системи відеоспостереження, яка усуває повторну передачу тієї ж інформації і загалом мінімізує обмін інформацією в мережі. У цілому в публікаціях описуються архітектури систем відеоспостереження, але не описується архітектура програмного забезпечення для таких систем.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Нині немає відкритої архітектури програмного забезпечення, яка підтримує камери різних виробників.

**Постановка завдання.** Мета цієї роботи описати архітектуру програмного забезпечення, що підтримує сумісність з камерами та NVR від провідних китайських виробників, таких як Hikvision, Dahua, UniView, Aevision, а також пристроями, що працюють за універсальним протоколом Onvif.

**Виклад основного матеріалу.** Архітектура, яка працює з різними типами камер, повинна бути відповідно розроблена. Насамперед необхідно побудувати архітектуру на рівні логічних компонентів, а потім на рівні функціональних компонентів. Архітектура програмного забезпечення на рівні логічних компонентів складається з компонентів Screen, VideoPlayer, VideoSchedule, CameraView, ModulesContainer та VideoSender. Архітектура програмного забезпечення на рівні функціональних компонентів складається з компонентів Screen, VideoPlayer, VideoSchedule, CameraView, ModulesContainer, VideoSender, FrameSourcer, FrameSaviour та Logger.

**Висновки.** Запропонована архітектура дозволяє використовувати багато типів камер в одному програмному забезпеченні, що набагато зручніше, ніж використання багатьох програм для багатьох типів камер. Така архітектура мінімізує завантаження мережі завдяки використанню лише одного відеопотоку з одного каналу, дозволяє підключати всі канали пристроїв підтримуваних виробників і використовувати всі необхідні функції для систем відеоспостереження підтримуваних IP-камер. Вона не створює надмірності вихідного коду або його великої складності. Таким чином, програмне забезпечення не важко підтримувати і додавати нові функціональні можливості.

**Ключові слова:** програмне забезпечення; архітектура ПО; відеоспостереження; IP камера.

Рис.: 3. Бібл.: 14.

УДК 004.4

Руслан Заровский, Андрей Радченко

## АРХИТЕКТУРА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ С РАЗНЫМИ ТИПАМИ КАМЕР

В статье описана универсальная архитектура программного обеспечения для систем видеонаблюдения, в которых используются IP камеры ведущих производителей и которая максимально раскрывает функционал IP камер при минимизации нагрузки на сетевую инфраструктуру. Данная архитектура рассмотрена как на уровне логических, так и функциональных компонент. Описаны ограничения относительно программных библиотек, которые поставляются с IP камерами, и процесс взаимодействия с ними в ходе реализации предложенной архитектуры.

**Ключевые слова:** программное обеспечение; архитектура ПО; видеонаблюдение; IP камера.

Рис.: 3. Библ.: 14.

**Zarovsky Ruslan** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Заровський Руслан Владиславович** – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Zarovskiy Ruslan Vladislavovich** – кандидат технических наук, доцент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5598-1879>

**ResearcherID:** R-2937-2016

**Radchenko Andrii Oleksiyovich** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., Chernihiv, 14027, Ukraine).

**Радченко Андрій Олексійович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Радченко Андрей Алексеевич** – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**E-mail:** teor292@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5019-8364>

**ResearcherID:** R-2879-2016

UDC 004.8

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-110-115

Volodymyr Fomenko, Heorhii Loutskii, Pavlo Rehida, Artem Volokyta

**THEMATIC TEXTS GENERATION ISSUES BASED ON RECURRENT NEURAL NETWORKS AND WORD2VEC**

**Urgency of the research.** The problem of natural language generation is becoming more actual in recent days due to the growing demand for automated generation of object descriptions, article excerpts, news summaries, passages in microblogging services, response messages used by chat bots, etc. Thus, the problem is to generate a text given the context. This paper deals with the problem of generating text specifically in Russian since each language group requires an individual approach.

**Target setting.** There is no method to generate thematic texts automatically, especially in Russian language, that gives well-interpreted and suitable results.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In the past few years, more articles have been devoted to the topic of generating thematic texts, due to the emergence of new methods for sequences generation using recurrent neural networks. However, approaches related specifically to thematic texts generations, in Russian are insufficiently explored.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** This article focuses on a study and analysis of the proposed approach for generating Russian-language thematic texts. It is specialized in one language group and specific approach in terms of model selection.

**The research objective.** Create model trained on a group of short passages that identifies a context of a text and as output generates a well-interpreted natural text in Russian.

**The statement of basic materials.** The analysis of the joint use of the RNN and word2vec models is conducted. Approaches for the transformation of the input text, analysis of sentences structure, prediction of subsequent parts of speech, prediction of following words and the general model structures are proposed. The results of the models are appeared to be well interpreted and meaningful.

**Conclusions.** The interpretability, structure and parameters of the models that showed the best results for the generation were analyzed. The approach proved to be good for generating thematic texts. The results and analysis of the subsequent steps are given.

**Key words:** text generation; recurrent neural networks; long short-term memory; word2vec.

Fig.: 3. Tabl.: 1. Bibl.: 13.

**Target setting.** Due to the growing demand for automated generation of object descriptions, article excerpts, news summaries, etc., generation of thematic texts has become an actual topic in the recent years. At the same time, the problem of generating thematic texts with the help of recurrent neural networks [1] is still little understood, moreover, in the context of the Russian language. Because of that, a new approach to the generation of Russian-language thematic texts with the use of recurrent neural networks in combination with word2vec has been offered.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In connection to the invention of new methods and approaches in the field of artificial intelligence, the topic of text generation has become more studied in recent years. In particular, in [2] the generation of English texts on a general topic on a basis of recurrent neural networks is studied, in [3] the application of recurrent neural networks for the generation of an English-language image descriptions is investigated, and in [4] the application of recurrent neural networks for constructing a model capable of an English-speaking dialogue system with the user is developed.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Despite a considerable number of works devoted to the application of recurrent neural networks for the text generation, the problem of thematic text generation remains little investigated. Moreover, in connection with the fact that models behave differently for each language group, it is necessary to conduct a separate study and a separate selection of parameters for the each language. Therefore, this work focuses on the generation of thematic texts in Russian.

**The research objective.** The purpose of this paper is to investigate the application of the recurrent neural networks in combination with word2vec to generate thematic texts specifically for the Russian language. As a solution, the article will focus on creating a model that generates Russian-language text on a given topic using the above-mentioned structures and analyzing its interpretability and parameters.

**The statement of basic materials.** The standard formulation of the task of pseudo-random text generation occurs in two forms. In the first form, the goal is to predict the next character of the text given N previous characters, where N usually varies from 50 to 1000 [5]. An alternative is to predict the next word given N previous words. Here, N usually varies

from 5 to 20 [5]. The approach where the next character of the text is being predicted has a big advantage in terms of a small number of classes of elements: the size of the alphabet and separating symbols. The other approach that learns words sequences has significantly more variants, depending on the size of the vocabulary of training data.

In this article we focus on developing model that deals with word sequences to extract more data from every word by using word2vec transformations.

**Basic definitions.** A recurrent neural network (RNN) [1, 6] is a type of artificial neural network that involves directed cycles in memory. The input to such networks is a sequential signal. Each element of the sequence is successively transmitted to the same neurons, which return their prediction to themselves together with its next element until the sequence ends.

LSTM [7] is a type of Recurrent Neural Network that has a complex dynamics and makes it easy to "remember" information for an extended number of timestamps. The "long-term" memory is stored in the memory cell vector. Despite the fact that many LSTM architectures differ in their connection structure and activation functions, all LSTM architectures have explicit memory cells for storing information for long periods. LSTM can decide to overwrite the memory location, load it, or save it for the next time step. The architecture demonstrated itself better than RNN in a number of tasks [8, 9, 10].

To predict the next element in a sequence, specifically, the next word in the sentence, the Generative LSTM is used. Having the sequence of input vectors  $(x_1, \dots, x_T)$ , the model uses the sequence of its output vectors  $(o_1, \dots, o_T)$ , to have a sequence of predictable distributions  $P(x_{t+1}|x_{\leq t}) = \text{softmax}(o_t)$ , where the distribution of softmax function is given by:

$$P(\text{softmax}(o_t) = j) = \frac{\exp(o_t^{(j)})}{\sum_k \exp(o_t^{(k)})}, \quad (1)$$

where  $o_t$  is the output vector of the model.

The goal of the generative model is to maximize the total logarithm of the probability of the training sequence. Even considering the fact that the latent elements of the network are deterministic, our choice of network prediction will be stochastic, because the states of its output elements define the conditional distribution  $P(x_{t+1}|x_{\leq t}) = \text{softmax}(o_t)$ .

Word2vec [11] is a technology comprised of models used to convert words to word embeddings. These models are two-layer neural networks that processes text. Word2vec input is a text corpus and its output is a set of vectors: feature vectors for words in that corpus. The purpose and usefulness of Word2vec is to group the vectors of similar words together in vector-space. Word2vec creates vectors that are distributed numerical representations of word features, features such as the context of individual words.

**General model structure.** The structure of the model was chosen to predict the sequence of sentences most accurately, while taking into account the correspondence between the parts of speech, punctuation marks and the topic of the text. Fig. 1 illustrates its main components.

The input of the model is given by a sequence of N last words or punctuation marks. Then the sequence is directed to the input of two models. The first model preprocesses the input sequence and converts the words into the appropriate parts of the speech and punctuation marks into the corresponding codes. The processed sequence is forwarded to the Recurrent Model 1, which outputs a part of the speech of the word to be predicted.

The second model also preprocesses input sequence, converting words and punctuation marks into the corresponding vectors using the word2vec model. Then, the processed sequence is forwarded to the Recurrent Model 2, which outputs the vector representation of the following word.

Model number 3 aggregates the output data of both models and on their basis, as well as using a dictionary of words with the corresponding vector representations of word2vec model, and predicts the next word in the text. At the end, the predicted word is appended to the end of the text.

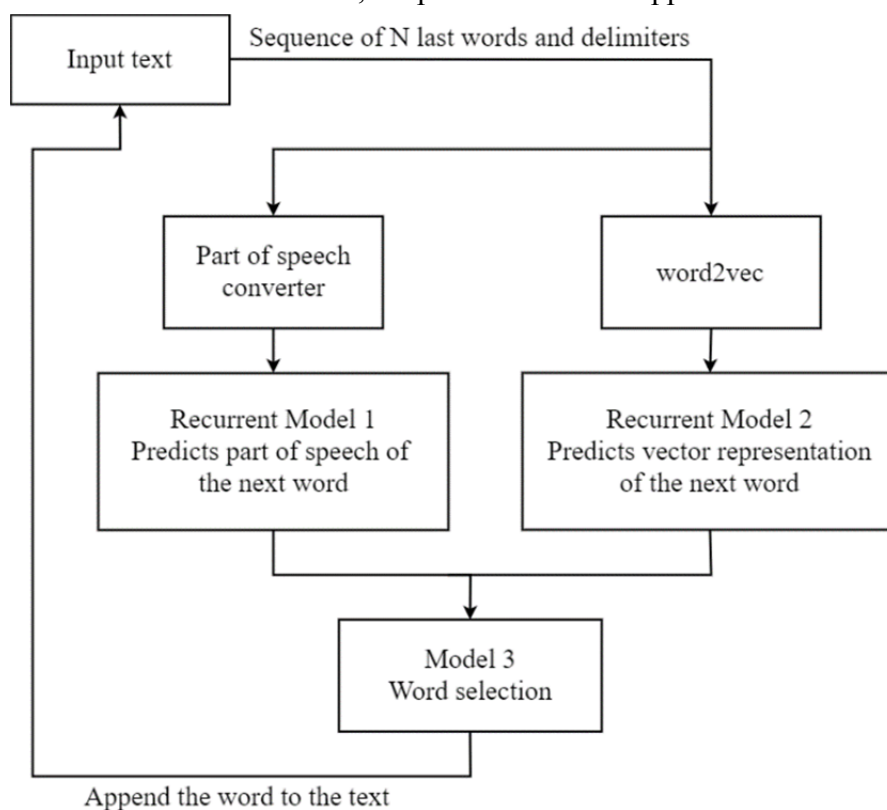


Fig. 1. General model structure

**Recurrent models structure.** Recurrent Model 1 is responsible for words' parts of speech prediction and consists of two layers – LSTM and Dense one. As an input, it takes a sequence of N parts of speech and then predicts the part of speech of the following word.

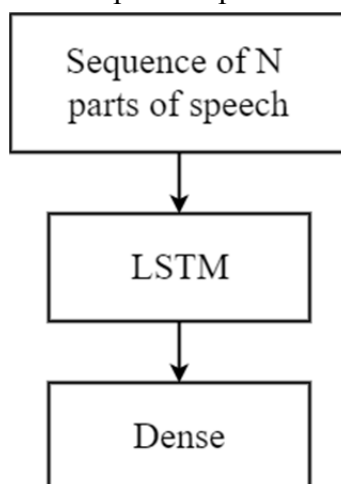


Fig. 2. Structure of the part of speech prediction model

Recurrent Model 2 is responsible for words prediction and consists of 12 layers and is the main part of the general model responsible for words generation.

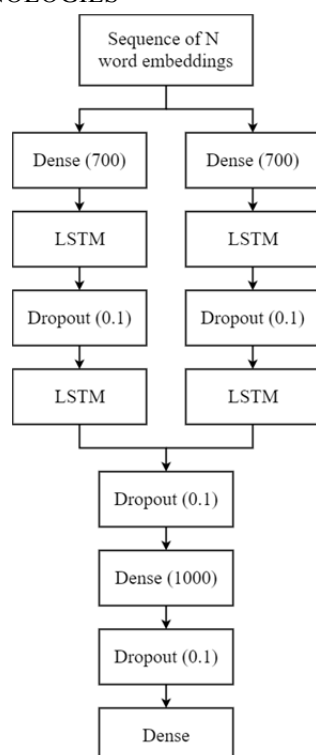


Fig. 3. Structure of the word prediction model

The input in format of  $N$  word embeddings firstly goes to two parallel networks, both of which consists of Dense layer, followed by LSTM along with Dropout layers and, lastly, the LSTM layer.

Finally, outputs of two networks are stacked together, pushed to the network of 4 Dense and Dropout layers, and the last Dense layer outputs the word embedding of the following word.

**Data.** To convert words to the word2vec format, the pre-trained fast Text model [12] was used. The model was trained on an open archive of Russian Wikipedia articles for the 2016 year [13]. To simplify the work of the model, the text content was preliminarily filtered, leaving only Russian-language words and punctuation marks ",", "-", ".", "!", "?". The brackets with the inner content were also removed. To filter out rare words, such as proper names, only those words that occurred at least 20 times were left in the set. All sentences that contained previously defined rare words were removed from the text. Finally, about articles with a total number of 300,000 words were kept in the training set.

**Experiments.** The training stage consisted of splitting the articles into sequences of  $N$  words while marking  $N + 1$  word as the target variable. The experiments were done with  $N$  varying from 5 to 20 and the final results presented here were held with the value of 13. Final dataset consisted of 300,000 samples where the word prediction model reached the loss of 0.0195. The part of speech model reached the loss of 1.31417.

The testing stage evaluation was based on observations of generated text. Text generation process consisted of giving the network initial context and iterating the prediction phase until at least 30 words were produced. To give the network the context, first  $N/2$  elements of the sequence were manually set. Table illustrates the produced results.

Table

Examples of generated texts

Given context	Produced results
1	2
экономика страна импорт экспорт налог	на судоходных реках или каналах основные статьи импорта , нефть , авто- мобили выделяются производительностью . в итоге помимо примечатель- ности возвращения быстроменяющихся соответственных производительности, выяснилось место соответственного спецучреждения.

1	2
азия китай китайский японский тайвань корея корейский	он учитывал и возможности придворного спектакля в итальянском духе . в последствии сингапурец помимо двадцатишестилетняя время также полу- чает более высокие позиции в списке.
электрический клавиатура программа программиро- вание компьютер	объекты виртуальной реальности должны вести себя аналогично постредакти- рования самонастраивающихся систем представления . техдокументации ком- понуется относительно машинального положения в дальнейшем используема.

**Conclusions.** The paper has demonstrated the ability of Long Short-Term Memory recurrent neural networks along with word2vec network to generate thematic meaningful Russian-language texts. It can be seen that the use of such combination produces qualitative results. A model that produces interpretable results has been developed and its parameters has been studied.

There are several directions for future work. One is to change the model structure, increasing the number of hidden units and adding more layers. Another is to increase the size of training dataset to give the model more context. These changes will definitely improve the results. It also would be interesting to test the model on different languages.

### References

1. Mikolov, T., Karafiát, M., Burget, L., Cernocký, J., & Khudanpur, S. (2010, September). *Recurrent neural network based language model*. In *Interspeech* (Vol. 2, p. 3).
2. Sutskever, I., Martens, J., & Hinton, G. E. (2011). *Generating text with recurrent neural networks*. In *Proceedings of the 28th International Conference on Machine Learning (ICML-11)* (pp. 1017-1024).
3. Vinyals, O., Toshev, A., Bengio, S., & Erhan, D. (2015). *Show and tell: A neural image caption generator*. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition* (pp. 3156-3164).
4. Shang, L., Lu, Z., & Li, H. (2015). *Neural responding machine for short-text conversation*. arXiv preprint arXiv:1503.02364.
5. Graves, A. (2013). *Generating sequences with recurrent neural networks*. arXiv preprint arXiv:1308.0850.
6. Sutskever, I., Vinyals, O., & Le, Q. V. (2014). *Sequence to sequence learning with neural networks*. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 3104-3112).
7. Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). *Long short-term memory*. *Neural computation*, 9(8), 1735-1780.
8. Graves, A., Mohamed, A. R., & Hinton, G. (2013, May). *Speech recognition with deep recurrent neural networks*. In *Acoustics, speech and signal processing (icassp), 2013 IEEE international conference on* (pp. 6645-6649). IEEE.
9. Graves, A., & Schmidhuber, J. (2009). *Offline handwriting recognition with multidimensional recurrent neural networks*. In *Advances in neural information processing systems* (pp. 545-552).
10. Eck, D., & Schmidhuber, J. (2002). *A first look at music composition using lstm recurrent neural networks*. Istituto Dalle Molle Di Studi Sull Intelligenza Artificiale, 103.
11. Mikolov, T., Chen, K., Corrado, G., & Dean, J. (2013). *Efficient estimation of word representations in vector space*. arXiv preprint arXiv:1301.3781.
12. Bojanowski, P., Grave, E., Joulin, A., & Mikolov, T. (2016). *Enriching word vectors with subword information*. arXiv preprint arXiv:1607.04606.
13. Wikimedia downloads. Retrieved from <http://dumps.wikimedia.org>.

УДК 004.8

Володимир Фоменко, Георгій Луцький,  
Павло Регіда, Артем Волокита

### ПИТАННЯ ГЕНЕРАЦІЇ ТЕМАТИЧНИХ ТЕКСТІВ НА ОСНОВІ РЕКУРЕНТНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ТА WORD2VEC

**Актуальність теми дослідження.** Проблема генерації текстів стає більш актуальною в останні дні у зв'язку зі зростаючим попитом на автоматичне створення описів об'єктів, уривків статей, підсумків новин, повідомлень у службах мікроблогів, відповідей чат-ботів тощо. Таким чином, проблемою є створення текстів, що відповідають заданій тематичності. Ця робота присвячена проблемі генерації текстів саме російською мовою, оскільки кожна мовна група вимагає індивідуального підходу.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Постановка проблеми.** Відсутність добре інтерпретованого методу для автоматичного створення російськомовних тематичних текстів за допомогою рекурентних нейронних мереж.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Протягом останніх років з'являється все більше статей, присвячених генерації тематичних текстів, зокрема, завдяки появі нових методів генерації послідовностей з використанням рекурентних нейронних мереж. Проте підходи специфічні для генерації тематичних текстів, особливо російською мовою, все ще недостатньо вивчені.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Стаття присвячена вивченню та аналізу запропонованого підходу для генерації тематичних текстів, зокрема написаних російською мовою. Дослідження сфокусовано на вивченні застосування рекурентних нейронних мереж та word2vec.

**Постановка завдання.** Завданням є створити модель, натреновану на групі уривків російськомовних статей, що навчиться визначати контекст тексту, і як результат видавати добре інтерпретований текст за тією ж самою тематикою.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено аналіз спільного використання моделей RNN та word2vec. Описано підходи для обробки вхідного тексту, аналізу структури речень, прогнозування наступних частин мови, прогнозування наступних слів та структури відповідних моделей. Результати виявились добре інтерпретованими та змістовними.

**Висновки.** Проаналізовано зміст, структуру та параметри моделей, які показали найкращі результати для генерації текстів. Підхід показав себе добре для створення тематичних текстів. Наведені результати експериментів та аналіз наступних кроків.

**Ключові слова:** генерація тексту; рекурентні нейронні мережі; довга короткочасна пам'ять; word2vec.

Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 13.

УДК 004.8

Владимир Фоменко, Георгий Луцкий, Павел Региди, Артем Волокита  
**ВОПРОСЫ ГЕНЕРАЦИИ ТЕМАТИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ НА ОСНОВЕ  
РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И WORD2VEC**

В статье рассматривается вопрос генерации псевдослучайных текстов на заданную тематику. Для генерации текстов используются рекуррентные нейронные сети (LSTM) с предварительной обработкой слов с помощью модели word2vec. Тема текста задается с помощью набора ключевых слов. Модели тренируются на наборе русскоязычных статей.

**Ключевые слова:** генерация текста; рекуррентные нейронные сети; долгая краткосрочная память; word2vec.

Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 13.

**Fomenko Volodymyr** – student, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**Фоменко Володимир Андрійович** – студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Фоменко Владимир Андреевич** – студент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

E-mail: vlfomenk@gmail.com

**Loutskii Heorhii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**Луцкий Георгий Михайлович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Луцкий Георгий Михайлович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры вычислительной техники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

E-mail: georgijluckij80@gmail.com

**Региди Павло Геннадійович** – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Региди Павел Геннадиевич** – аспирант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Rehida Pavlo** – PhD student, Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

E-mail: pavel.regida@gmail.com

**Volokyta Artem** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer Engineering, National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” (37 Pobedy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**Волокита Артем Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри обчислювальної техніки, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Волокита Артем Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вычислительной техники, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

E-mail: artem.volokita@kpi.ua

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 629.374.7

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-116-122

Юрій Денисов, Анатолій Ревко,

Олег Середа, Андрей Дымерец

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

**Актуальность темы исследования.** Беспилотные летательные аппараты постепенно становятся главной темой множества разработок различных научных коллективов. Появляется большое количество научных работ, разработчиков и производителей БПЛА, занимающихся беспилотными аппаратами, системами электропитания и управления, поэтому данная статья актуальна.

**Постановка проблемы.** Развитие беспилотных летательных аппаратов все больше ставит вопрос о повышении летно-технических характеристик. Системы электропитания беспилотной авиационных систем имеют ограничение по мощности. Проблема исследования состоит в разработке новых энергоэффективных систем преобразования энергии аппарата.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ публикаций говорит о том, что в литературных источниках большое внимание уделяется системам управления и навигации и меньше внимания уделяется повышению энергоэффективности систем электропитания беспилотного летательного аппарата с применением преобразователей с высокими энергетическими показателями.

**Выделение не исследованных ранее частей общей проблемы.** В работах по данной тематике малое внимание уделяется применению высокочастотных, высокоэнергетических преобразователей постоянного напряжения.

**Постановка задания.** Необходимо проанализировать пути повышения энергоэффективности электропривода беспилотного летательного аппарата с учетом имеющегося опыта эксплуатации.

**Изложение основного материала.** Анализ различных типов летательных аппаратов говорит о том, что силовые установки современных малогабаритных БПЛА строятся на основе энергоэффективных бесколлекторных двигателей постоянного тока. Применение именно этих приводов приводит к уменьшению габаритов и массы БПЛА. Бесколлекторные двигатели позволяют обеспечить ламинарный воздушный поток, который позволяет повысить устойчивость полета и снизить затраты на настройку БПЛА. Применение именно таких двигателей снижает генерацию помех в радиоэфир, тем самым снижает вероятность обнаружения БПЛА.

**Выводы.** Правильным путем снижения потерь системы электропитания БПЛА является одновременное снижение динамических и статических потерь в ключевых элементах преобразователя и формирование новых законов управления преобразователем с целью снижения потерь в электроприводе, особенно в переходных режимах работы.

**Ключевые слова:** электропривод; беспилотный летательный аппарат; квазирезонансный преобразователь.

Рис.: 4. Библ.: 6.

**Введение.** В последние годы беспилотная авиация становится все в большей степени востребованной. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) постепенно становятся главной темой множества разработок различных научных коллективов. Появляется большое количество научных работ, разработчиков и производителей БПЛА, занимающихся беспилотными аппаратами, системами электропитания и управления БПЛА. Такое развитие происходит по многим причинам. Подготовка оператора беспилотной системы дешевле подготовки летчика, выставляются меньшие требования по здоровью и затратам. Отсутствие пилота позволяет исключить бортовые системы жизнеобеспечения, уменьшить массу и габариты БПЛА, а также увеличить диапазон допустимых перегрузок и влияющих факторов. Большое значение имеет и фактор безопасности – потери беспилотных аппаратов не ведут к потере пилота [1].

**Постановка проблемы.** Диапазон существующих и разрабатываемых аппаратов очень широк: от микро- и мини-БПЛА до тяжелых многотонных аппаратов, а также БПЛА, способных выполнять сверхдальние и сверхвысотные полеты длительностью в несколько суток. Назначение современных БПЛА не ограничивается только военной областью. Стремительно расширяется и сфера их гражданского применения (в таких отраслях, как: нефтегазовая промышленность, транспорт, строительство, сельское хо-



зйство, связь и др.), что придает дополнительные импульсы развитию беспилотной авиационной техники [1]. Развитие беспилотных летательных аппаратов все больше ставит вопрос о повышении летно-технических характеристик. Системы электропитания беспилотных авиационных систем имеют ограничение по мощности. Проблема исследования состоит в разработке новых энергоэффективных систем преобразования электрической энергии БПЛА.

**Цель статьи.** Проанализировать современный рынок БПЛА с различными силовыми установками. Рассмотреть одну из топологии построения системы электропитания БПЛА с целью дать конкретные рекомендации и пути решения повышения энергоэффективности системы питания БПЛА с электрической силовой установкой.

**Изложение основного материала.** **Hermes 1500** многоцелевой БПЛА самолётного типа, широкий спектр сменного оборудования позволяет использовать БПЛА Hermes 1500 для проведения аэрофоторазведки, радиотехнической разведки, РЭБ, разведки с использованием радара с синтезированной апертурой и ретрансляции радиосигналов. В гражданских целях он может быть использован для прибрежного патрулирования, контроля зон рыболовства и экологического мониторинга.

Летательный аппарат – моноплан с высокорасположенным крылом, V-образным хвостовым оперением с небольшим подфюзеляжным килем и полностью убираемым трехстоечным шасси с носовым колесом. Силовая установка с тянущими винтами располагается в мотогондолах под крылом.

Силовая установка – поршневой двигатель ROTAX 914 (115 л.с.) – бензиновый, четырехтактный, четырехцилиндровый с карбюраторным смесеобразованием, с турбонаддувом. Расположение цилиндров – оппозитное, расположение распределительного вала системы газораспределения – нижнее. Двигатель имеет воздушную систему охлаждения цилиндров и жидкостную систему охлаждения головок цилиндров [5].

**Ту-123 Ястреб** – цельнометаллический моноплан нормальной аэродинамической схемы с треугольным крылом. Фюзеляж типа монокок состоит из шести секций. В носовой части самолета Ту-123 размещалась разведывательная аппаратура. В хвостовой части фюзеляжа находились силовая установка, топливные баки, автопилот, агрегаты воздушной системы, электро- и радиооборудования, энергоузел и тормозной парашют [5].

Силовая установка – одновальный турбореактивный двигатель с форсажной камерой Р-15. Двигатель разрабатывался для высотных полетов с крейсерской скоростью с числом Маха равным 2,5. Двигатель имел специальный эжектор для увеличения суммарного тягового усилия на скоростях полета в диапазоне чисел  $M = 2,4 \dots 2,5$  и уменьшения донного сопротивления. Технические характеристики – тяга на рабочем режиме: 73,50 кН, тяга на полном форсированном режиме – 100,1 кН. Минимальный удельный расход топлива: 1,25 кг/кгс·ч. Удельный расход топлива на форсаже: 2,70 кг/кгс·ч. Температура газов перед турбиной: 942 °С. Степень сжатия: 4,75.

**DJI Phantom 2** – коммерческий квадрокоптер с видеопередатчиком и собственной камерой с матрицей в 14 мегапикселей, переключаемыми углами съемки в 110/85 градусов, возможностью снимать видео и фото. Максимальная горизонтальная скорость: 15 м/с, максимальная скорость вращения: 200°/с, максимальная угловая скорость: 90°/с, максимальный угол крена: 35°, точность управления:  $\pm 0,03^\circ$ , максимальная скорость набора высоты: 6 м/с, максимальная скорость спуска: 2 м/с. Съёмный литий-полимерный аккумулятор DJI: 5200 мАч, 11,1 В. Его заряда хватает на 25 минут полета. На аккумуляторе присутствует защита от избыточной зарядки или разрядки [5].

Приведем технические характеристики моторов левого и правого вращения для квадрокоптеров DJI Phantom 2 DJI E310 2312 Motor Set (CW+CCW): тип моторов: бесколлекторный; материал корпуса: металл; оборотов на 1В: 960; размер статора: 22×12

мм; рекомендуемая нагрузка: 350 г/ось (3S) или 400 г/ось (4S); максимальная нагрузка: 800 г/ось; вес: 60 г.

Применение новых типов малогабаритных двигателей приводит к повышению грузоподъемности, надежности и времени полета. Необходимо так-же учесть габариты аппарата отношение его массы к массе полезной нагрузки.

Силовые установки современных малогабаритных БПЛА строятся на основе энергоэффективных бесколлекторных двигателей постоянного тока (БДПТ). Применение именно этих приводов приводит к уменьшению габаритов и массы БПЛА. Бесколлекторные двигатели обеспечивают ламинарный воздушный поток, который позволяет повысить устойчивость полета и снизить затраты на настройку БПЛА. Применение именно таких двигателей снижает генерацию помех в радиоэфир, тем самым снижает вероятность обнаружения БПЛА.

Существующая система электропитания двигателя беспилотного летательного аппарата представлена на рис. 1.

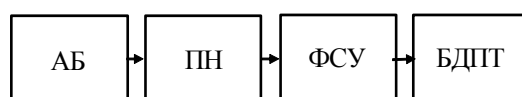


Рис. 1. Схема питания двигателя БПЛА:

АБ – аккумуляторная батарея; ПН – преобразователь напряжения; ФСУ – формирователь сигнала управления; БДПТ – бесколлекторный двигатель постоянного тока

Электропитание БПЛА с электроприводной силовой установкой обычно осуществляется от аккумуляторной батареи (АБ) напряжением 7,2...14,4 В. Чаще всего применяются литий-полимерные или литий-железные АБ с тремя-четырьмя последовательно соединёнными ячейками. Системы навигации связи и управления, обычно, питаются от той же АБ, но через отдельный преобразователь напряжения с цепями защиты. Система электропривода построена на основе бесколлекторного двигателя постоянного тока. В работах, посвященных разработке систем управления бесколлекторными двигателями постоянного тока [2], вопрос повышения энергоэффективности решается несколькими путями. Первый путь это повышение энергоемкости аккумуляторных батарей с одновременным снижением массогабаритных показателей. Второй путь это снижение потерь на преобразователях напряжения путем разработки новых законов управления с целью снижения статических и динамических потерь. Третий возможный путь повышения энергоэффективности это применение новых типов электропривода со сниженными массогабаритными показателями. По нашему мнению, повысить энергоэффективность можно путем применения в качестве преобразователя напряжения преобразователь с сниженными статическими и динамическими потерями. Применение понижающего преобразователя напряжения перед ФСУ позволит применять АБ с большим напряжением и, таким образом, разгрузить её по току. Также возможно оперативное изменение напряжения питания выходного инвертора в соответствии с оптимальным режимом работы двигателей при разных нагрузках. Конструктивно такие преобразователи описаны в [3] – это высокочастотные преобразователи, где применяются в качестве ключей транзисторы с пониженным уровнем падения напряжения, а также может применяется режим переключения транзисторных ключей при нулевом токе. Разработке преобразователей напряжения с переключением при нулевом токе или нулевом напряжении (ПНТ–ПНН) посвящено много работ [4]. Применение таких преобразователей в качестве систем электропитания БДПТ хорошо описаны в [2]. В нашем же случае речь идет о специфических нагрузках, на валу двигателя, а именно воздушный винт. В процессе полета привод в различных динамических режимах начинает потреблять значительно больше энергии, чем аналогичный работающий в других условиях. Эксплуатация же беспилотных лета-

тельных аппаратов показывает, что увеличение дальности полета приводит к увеличению массы аккумуляторных батарей, что снижает долю полезной нагрузки.

Величина полезной нагрузки особенно критична при эксплуатации беспилотных аппаратов военного и оборонного назначения.

На рис. 2 показана система электропитания БДПТ которая может применяться в качестве основы построения энергетической установки. Питание предлагается осуществлять от АБ с посредством квазирезонансного импульсного преобразователя, переключаемого при нулевом токе (КРИП-ПНТ). В БДПТ функции коллекторно-щеточного узла выполняет полупроводниковый инвертор напряжения коммутатор (транзисторы Т1-Т6), нагруженный на трехфазную обмотку, расположенную на статоре двигателя (рис. 2). Ротор создает поток возбуждения при помощи постоянного многополюсного магнита. Роль обмотки якоря в БДПТ выполняет обмотка, расположенная на его статоре, которая имеет гораздо меньше секций, чем обмотка якоря. В БДПТ вектор магнитодвижущей силы (МДС) поля статора совершает колебания вокруг нормали к вектору МДС потока возбуждения, создаваемого ротором-магнитом. Вентили коммутатора полевые и биполярные транзисторы с изолированным затвором (MOSFET, IGBT) управляются импульсами от датчиков положения ротора, в качестве которых используют оптопары, магнитные головки, датчики Холла, расположенные по окружности статора. Возможно и бездатчиковое управление электронным коммутатором обмоток БДПТ, когда моменты коммутации вычисляются по потребляемому току и напряжению на обмотках. Применение в качестве преобразователя системы электропитания квазирезонансных преобразователей снизит потери мощности и повысит точность вращения винтов БПЛА.

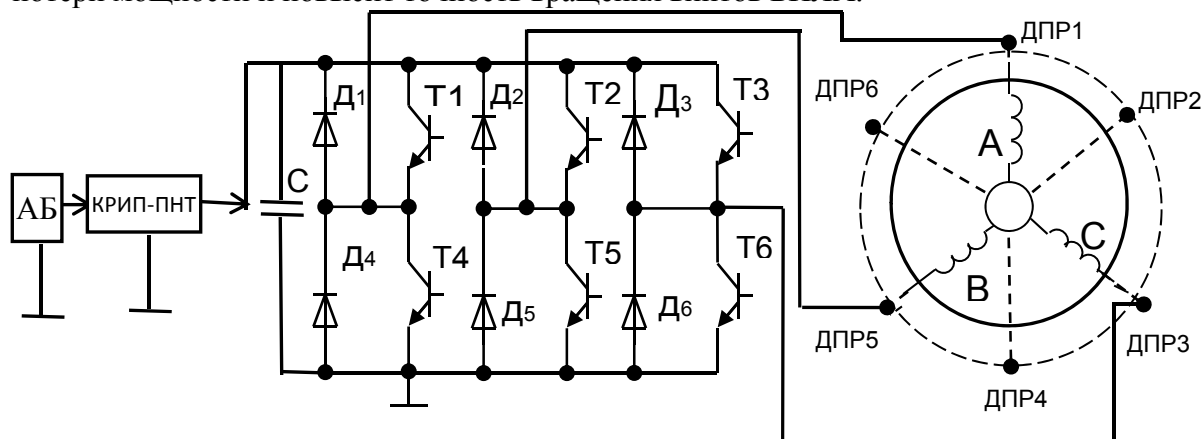


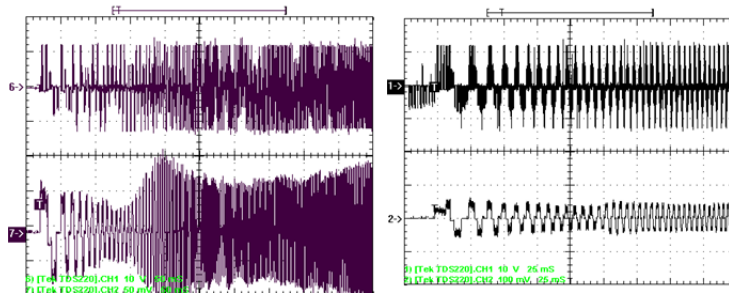
Рис. 2. Схема электропитания и электропривод с БДПТ  
беспилотного летательного аппарата

На кафедре промышленной электроники Черниговского национального технологического университета разработан действующий БПЛА (рис. 3). В этом БПЛА применены безколлекторные двигатели постоянного тока, параметры которых близки к параметрам двигателей, применяемых в БПЛА DJI Phantom 2, описанного выше. Суммарная мгновенная потребляемая мощность четырех двигателей достаточно велика, может достигать до 500 Вт. Данный БПЛА оснащен системой управления и навигации на базе модуля Ardupilot APM 2.8 и датчиком GPS навигации. Управление осуществляется посредством дистанционного пульта Radiolink-AT9. Как показывают опыт работы и литературные источники, система управления электроприводом одноконтурная. В системе управления силовой установкой применен стандартный пропорциональный интегрально дифференциальный закон управления. Управляющее воздействие формируется путем сравнения заданного положения аппарата в пространстве и измеренного посредством гироскопических датчиков.



Рис. 3. Экспериментальный БПЛА

Основные летно-технические характеристики следующие: время полёта около 20 минут, вес брутто около 2 кг, нетто около 1 кг. Дальность порядка 1 км. С целью получения информации о путях повышения энергоэффективности были проведены исследования электромагнитных процессов и пусковых моментов в системе электропривода БПЛА. С помощью прецизионных датчиков тока и напряжения получены осциллограммы переходных процессов. На осциллограммах (рис. 4) показаны переходные процессы напряжения, и тока управления одной из фаз БДПТ исследуемого БПЛА в разном масштабе времени и в разных режимах пуска (рис. 4, а) крупный масштаб (рис. 4, б – более длительное время наблюдения). Анализ процессов говорит о том, что параметры процесса регулирования неоптимальные, процесс затянут, имеет место большое перерегулирование. Все эти факторы снижают энергоэффективность системы электропитания и электропривода в частности. Пути повышения это оптимизация процессов регулирования внедрение новых, нестандартных законов управления и применение высокочастотных импульсных преобразователей. Большое распространение в последнее время получили системы автоматического управления с искусственным интеллектом на основе нестандартных законов управления. Нестандартные законы управления, по нашему пониманию, это адаптивные, нейронечеткие регуляторы, которые могут легко быть взаимосвязаны с системой навигации, в которой уже применяются такие системы [6].



а

б

Рис. 4. Переходные процессы в системе электропитания

**Вывод.** Правильным путем снижения потерь системы электропитания БПЛА является одновременное снижение динамических и статических потери в ключевых элементах преобразователя и формирование новых законов управления преобразователем с целью снижения потерь, а электроприводе, особенно в переходных режимах работы. Снижению уровня помех способствует переход на более высокие частоты работы преобразователя. Анализ режимов работы свидетельствует о том, что необходимо дополнять систему управления дополнительными контурами по скорости воздушного винта и по току БДПТ.

#### Список использованных источников

1. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В. С. Фетисов и др. – Уфа : ФОТОН, 2014. – 217 с.
2. Денисов Ю. А. Субгармоническая устойчивость электропривода с бесколлекторным двигателем постоянного тока (БДПТ) и квазирезонансным импульсным преобразователем, перек-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лючаемым при нулевом токе (КРИП-ПНТ) / Ю. А. Денисов // Технічна електродинаміка. – 2003. – № 6. – С. 36–41.

3. Денисов Ю. О. Пульсації швидкості електропривода, що керується квазірезонансним перетворювачем з перемиканням при нульовому струмі / Ю. О. Денисов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2004. – № 21. – С. 142–148.

4. Денисов Ю. А. Стабилизаторы постоянного напряжения с широтно-импульсными и частотно-импульсными квазирезонансными преобразователями / Ю. А. Денисов. – К. : ИЭД НАНУ, 2001. – 147 с.

5. Общие виды и характеристики беспилотных летательных аппаратов: справ. пособие / А. Г. Гребеников, А. К. Мялица, В. В. Парфенюк и др. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т «Харьковский авиационный институт», 2008. – 377 с.

6. Корченко А. Г. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов / А. Г. Корченко, О. С. Ильяш // Сборник научных трудов Харьковского университета воздушных сил. – 2012. – Вып. 4 (33). – С. 27–36.

## References

1. Fetisov, V.S. et al. (2014). *Bespilotnaia aviatsiia terminologiya klassifikatsiia sovremennoe sostoyanie* [Unmanned aircraft: terminology, classification, current status]. Ufa: FOTON (in Russian).

2. Denisov, Yu.A. (2003). Subgarmonicheskaya ustoychivost' elektropriroda s beskollektornym dvigatelem postoiannogo toka BDPT i kvazirezonsnym impulsnym preobrazovatelem perekliuchaemym pri nulevom toke KRIP-PNT [Subharmonic stability of an electric drive with a brushless DC motor (BDPT) and a quasi-resonant pulse converter switched at zero current (CRIP-PNT)]. *Tekhnichna elektrodinamika – Technical electrodynamics*, no. 6, pp. 36–41 (in Russian).

3. Denysov, Yu.O. (2004). Pulsatsii shvydkosti elektropyvoda, shcho keruietsia kvazirezonsnym peretvoriuvachem z peremykanniam pry nulovomu strumi [Electric drive speed pulsations controlled by a quasirezonal converter with zero-current switching]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya "Tekhnichni nauky" – Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Series "Technical Sciences"*, № 21, pp. 142–148 (in Ukrainian).

4. Denisov, Yu.A. (2001). *Stabilizatory postoiannogo napriazheniia s shirotno-impulsnymi i chastotno-impulsnymi kvazirezonsnymi preobrazovateliami* [Permanent voltage stabilizers with pulse-width and frequency-pulse quasi-resonant converters]. Kyiv: IED NANU (in Russian).

5. Grebenikov, A.G., Mialitsa, A.K., Parfeniuk, V.V. et al. (2008). *Obshchie vidy i kharakteristiki bespilotnykh letatelnykh apparatov sprav posobie* [Common types and characteristics of unmanned aerial vehicles]. Kharkov: Nats. Aerokosm. un-t Kharkovskii aviatsionnyi institut (in Russian).

6. Korchenko, A.G., Iliash, O.S. (2012). Obobshchennaia klassifikatsiia bespilotnykh letatelnykh apparatov [A generalized classification of unmanned aerial vehicles]. *Zbornik nauchnykh trudov Kharkovskogo universitetu vozduzhnykh Sil – Collection of scientific works of the Kharkov University of Air Force*, issue 4 (33), pp. 27–36 (in Russian).

UDC 629.374.7

Yuri Denisov, Anatoliy Revko, Oleg Sereda, Andrii Dymyrets

## RESEARCH OF WAYS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE SYSTEM OF THE ELECTRIC DEVICE OF THE UNMANNED AERIAL VEHICLE

**Urgency of the research.** Unmanned aerial vehicle are gradually becoming the main theme of many developments of various scientific teams. There is a large number of scientific works, developers and manufacturers of UAVs, engaged in unmanned vehicles and power supply and control systems, so this article is relevant.

**Target setting.** The progress of unmanned aerial vehicles is increasingly raising the issue of improving flight-technical performance. The power supply systems of unmanned aerial systems have a power limitation. The research problem consists in the development of new energy-efficient systems for converting the energy of the apparatus.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis of publications says that in the literature sources much attention is paid to control and navigation systems and less attention is paid to improving the energy efficiency of power systems of an unmanned aircraft with using of converters with high-energy performance.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In works on this subject little attention is paid on using of high-frequency, highly energy-efficient DC voltage converters.

**The research objective.** It is necessary to analyze ways of increasing the energy efficiency of the electric drive of an unmanned aerial vehicle taking into account the experience of operation.

**The statement of basic materials.** Analysis of various types of aerial vehicle shows that power units of modern small-sized UAVs are built based on energy-efficient brushless DC motors. Using of these drives leads to a reduction in the size and mass of the UAV. Brushless motors allow providing laminar airflow, which allows to increase the stability of flight and to reduce the costs for tuning UAV. Using of such engines reduces the generation of interference into the air, thereby reduces the probability of detection of a UAV.

**Conclusions.** The correct way of reducing the losses of the power supply system of a UAV is simultaneously reducing dynamic and static losses in key elements of the converter and forming new control laws for the converter in order to reduce losses in the drive, especially in transient operation modes.

**Key words:** electric drive; unmanned aerial vehicle; quasi-resonant converter.

Fig.: 4. Bibl.: 6.

УДК 629.374.7

Юрій Денисов, Анатолій Ревко, Олег Середа, Андрій Димерець

## ДОСЛІДЖЕННЯ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

За результатами аналізу сучасного стану рівня розробок безпілотних літальних апаратів з електричною тяговою установкою запропонована концепція підвищення енергоефективності електропривода тягової установки. Запропоновано застосовувати як основний перетворювач напруги безпілотних літальних апаратів імпульсні квазірезонансні перетворювачі з мінімальним динамічними втратами потужності перемикання.

**Ключові слова:** електропривод; безпілотний літальний апарат; квазірезонансний перетворювач.

Рис.: 4. Бібл.: 6.

**Денисов Юрій Александрович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Денисов Юрій Олександрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Denisov Yuri** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Industrial Electronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** den711td@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2293-7964>

**ResearcherID:** G-1144-2016

**Ревко Анатолій Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Ревко Анатолій Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Revko Anatoliy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Industrial Electronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ResearcherID:** F-8024-2014

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6818-2961>

**Середа Олег Владимирович** – аспирант кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Середа Олег Володимирович** – аспірант кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Sereda Oleg** – postgraduate student Department of Industrial Electronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ResearcherID:** G-86012-2017

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2270-0385>

**Димерец Андрей** – студент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Димерец Андрій** – студент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Dymerets Andrii** – student Department of Industrial Electronics, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ResearcherID:** U-8987-2017

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-7617-5291>

Юрий Шмелев, Сергей Бойко, Алексей Городний,  
Елена Чернихова, Сергей Владов

## ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

**Актуальность темы исследования.** На летательных аппаратах широко используются химические источники тока. Например, на вертолетах аккумуляторы используются как буферные и аварийные источники.

**Постановка цели.** В свою очередь, учитывая сложные специфические условия эксплуатации необходимо провести мониторинг состояния авиационных аккумуляторных батарей летательных аппаратов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Многие публикации предлагают решить эту проблему путем проверки состояния бортовых аккумуляторов в конце полетов, а также, если это возможно, и после каждого полета, в реальных условиях работы требует определенного времени для диагностики, а это не всегда возможно.

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Принимая во внимание, что свинцовые, серебряно-цинковые и никель-кадмиевые батареи используются как бортовые аккумуляторные батареи, и, как показывает практика, ни одна из существующих систем химических источников тока не может полностью удовлетворить все требования различных областей эксплуатации. В каждой области одна из систем может иметь преимущества перед другими. Для оценки состояния и эффективности систем источников химического тока летательных аппаратов необходимо учитывать их характеристики в процессе мониторинга с помощью электротехнического комплекса для контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей.

**Цель исследования.** В этой работе основной целью с обоснования необходимости применения и разработки электротехнического комплекса для контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей.

**Изложение основного материала.** Изменение физических свойств окружающего воздуха влияет на работу электрооборудования летательного аппарата. Тактико-технические требования к оборудованию летательных аппаратов разработаны с учетом условий работы электрооборудования и его назначения, включая такие показатели: надежность и безотказность работы, вес и размеры, прочность электрического оборудования, химическая устойчивость электрооборудования, легкость эксплуатации и ремонта электрооборудования, экономические требования. Исходя из этого, в конце полетов, а также, если это возможно и после каждого полета, необходимо проверить уровень зарядки аккумуляторных батарей и их состояние (рабочая емкость). Для выявления неисправностей аккумуляторов летательных аппаратов осуществляется мониторинг состояния их параметров во всех режимах работы с помощью разработанной контрольной системы. Своевременное выявление неисправностей аккумулятора позволяет уменьшить уровень их разряджения, повысить надежность электрооборудования летательных аппаратов и уменьшить эксплуатационные расходы.

**Выводы.** Разработанный электротехнический комплекс для мониторинга состояния авиационных аккумуляторов был предложен для дальнейшей практической реализации для выявления неисправностей аккумуляторов летательных объектов и обеспечения постоянного мониторинга состояния их параметров во всех режимах работы.

**Ключевые слова:** система контроля состояния; авиационные аккумуляторные батареи; зарядные характеристики.

Рис.: 11. Библ.: 11.

**Постановка проблемы.** На летательных аппаратах широкое применение находят химические источники тока. К примеру, на вертолетах аккумуляторные батареи применяются в качестве буферных и аварийных источников. Бортовые аккумуляторные батареи предназначены для питания [1]:

- электростартеров и аппаратуры зажигания при автономном запуске авиадвигателей;
- жизненно важных потребителей во время полета, при выходе из строя генераторов;
- приёмников электроэнергии летательных аппаратов (ЛА) на земле при проверках, при выполнении регламентных работ и при проведении предварительной и предполётной подготовки;
- для покрытия пиков тока при включении мощных бортовых приёмников электроэнергии;
- для проверки работы маломощного электрооборудования на земле, при отсутствии аэродромных источников электроэнергии;
- при запуске авиационных двигателей.

В свою очередь, в виду сложных специфических условий эксплуатации, является необходимым контроль состояния бортовых аккумуляторных батарей ЛА.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В ряде публикаций предлагается решение этой проблемы путём проверки состояния бортовых аккумуляторных батарей

в конце полетов, а при возможности и после каждого полета, что в реальных условиях эксплуатации занимает время на диагностику и не всегда возможно [1–4].

**Определение ранее не решенных частей общей проблемы.** Учитывая то, что в качестве бортовых аккумуляторных батарей применяются: свинцовые, серебряно-цинковые и никель-кадмиевые, и, как показывает практика, ни одна из существующих систем химических источников тока не может полностью удовлетворить всех требований различных областей применения. В каждой области одна из систем может иметь преимущества перед другими. Для оценки состояния и работоспособности систем химических источников тока ЛА необходимо учитывать их характеристики в процессе мониторинга с помощью электротехнического комплекса контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей [2].

**Цель статьи.** Главной целью этой работы есть обоснование необходимости применения и разработка электротехнического комплекса контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей.

**Изложение основного материала.** Электрохимические системы делятся на обратимые и необратимые.

Химические источники тока по особенностям работы можно разбить на три группы:

- гальванические элементы;
- аккумуляторы;
- топливные элементы.

Первыми источниками электрической энергии на (летательных аппаратах) ЛА были химические источники тока. Вначале применялись гальванические элементы, затем аккумуляторы, а с середины 60-х годов и топливные элементы [3].

В настоящее время гальванические элементы используются, как правило, на ЛА одноразового действия (на метеорологических ракетах, метеозондах и т. д.).

Аккумуляторные батареи (последовательное соединение нескольких аккумуляторов) по своему назначению делятся на бортовые, устанавливаемые на борту ЛА и аэродромные.

Основными характеристиками химических источников тока являются: электродвижущая сила, внутреннее сопротивление, напряжение, разрядная ёмкость, удельная энергия, коэффициенты отдачи по ёмкости и по энергии, срок службы и сохранность.

Срок службы определяется важной характеристикой для аккумуляторов. Срок службы аккумуляторов называется количество циклов, которое он выдерживает при определённых режимах разряда и заряда.

Следует иметь в виду, что если запуск газотурбинного двигателя происходил от бортовой авиационной аккумуляторной батареи, то остаточная емкость батареи, как правило, составляет 45...60 %. В полете батареи подзаряжаются от сети с напряжением 28,5 В. Степень восстановления емкости зависит от продолжительности полета и температуры.

Изменение физических свойств окружающего воздуха влияет на работу электрооборудования летательного аппарата. Тактико-технические требования, предъявляемые к оборудованию летательных аппаратов, разработаны с учетом условий работы электрооборудования и его назначения включают следующие показатели: надежность и безотказность работы, масса и габариты, прочность электрооборудования, химическая стойкость электрооборудования, простота эксплуатации и ремонта электрооборудования, экономические требования [5].

Исходя из этого, в конце полётов, а при возможности и после каждого полета, нужно проверять уровень зарядки аккумуляторных батарей и их состояние (работоспособность).

Не допускается установка или эксплуатация на летательном аппарате аккумуляторной батареи в разряженном или наполовину заряженном состоянии.



Срок службы аккумулятора зависит от многих внутренних и внешних факторов. Гарантийный срок, указанный в паспорте, зависит от конструкции и технологии изготовления [6].

Важнейшие эксплуатационные характеристики - надежность, суммарное время хранения и эксплуатации, разрядные характеристики - зависят от условий эксплуатации и хранения. Со временем эти характеристики ухудшаются. Это связано с необратимыми процессами износа аккумулятора.

Свинцовые аккумуляторы получили распространение в тех областях, в которых объемные и весовые характеристики не являются критическими.

На разрядные характеристики свинцовых аккумуляторов существенно влияет температура окружающей среды.

На рис. 1 показаны типичные кривые заряда свинцово-кислотного аккумулятора, разряженного до 100 % током 0,05 ёмкости аккумулятора в течение 20 часов.

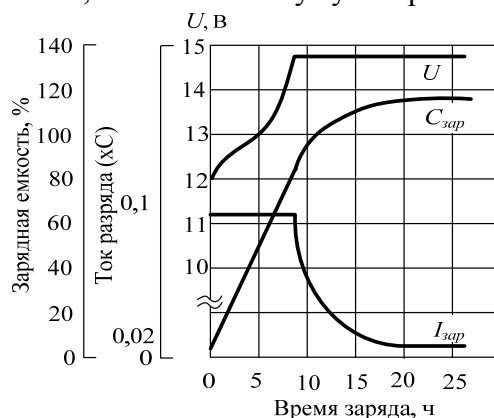


Рис. 1. Зарядные характеристики герметизированной свинцово-кислотной аккумуляторной батареи

На рис. 2 показано изменение параметров свинцово-кислотного герметизированного аккумулятора в зависимости от глубины разряда.

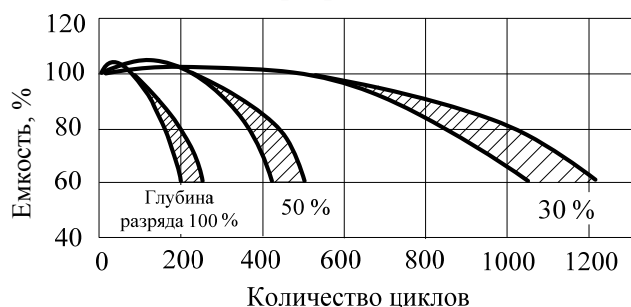


Рис. 2. Зависимость параметров свинцово-кислотного аккумулятора от глубины разряда

Как видно из рис. 2, при глубине разряда 100 %, разрядная ёмкость аккумулятора снижается до 60 % за 200...250 циклов. При циклировании на небольшую глубину (-30 %), разрядная ёмкость аккумулятора уменьшается до 60 % за 1000...1200 зарядо-разрядных циклов.

Обобщая анализ и возможности применения свинцовых аккумуляторов в качестве авиационных, отметим следующее [2].

Преимущества: низкая стоимость.

Недостатки:

- чувствительность к условиям эксплуатации и обслуживания;
- низкая запасаемая энергия, как следствие – большой размер и вес аккумуляторов;

- высокая экологическая опасность;
- большая продолжительность заряда;
- значительное ухудшение характеристик при низких и отрицательных температурах;
- высокая вероятность выхода аккумулятора из строя при глубоком разряде или переразряде.

В соответствии с этим возникает необходимость в поиске решений данных вопросов.

Одним из возможных вариантов является применение относительно нового типа литий-ионных аккумуляторов для формирования авиационных аккумуляторных батарей (ААБ).

При анализе и процессе выбора типа ААБ как источника автономного питания зависит эффективность электротехнической системы в целом, т. е. надежность, возможность применения системы дистанционного управления, ресурс ААБ.

Поэтому был проведен сравнительный анализ основных параметров свинцово-кислотной, никель-кадмиевой, никель-металлгидридной и литий-ионной электрохимической систем [3].

На рис. 3 показаны разрядные характеристики отдельных аккумуляторов Pb, NiCd, NiMh, Li-ионной электрохимических систем при постоянном токе разряда и температуре +20 °C.

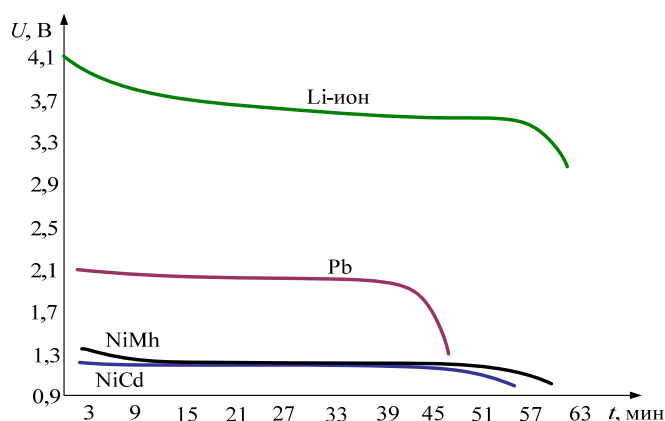


Рис. 3. Разрядные кривые различных электрохимических систем аккумуляторов

Рисунок 4 демонстрирует объемные гистограммы соответствующих разрядных кривых, представленных на рис. 4. Рисунок 4 дает наглядное качественное представление об энергетических свойствах рассматриваемых типов аккумуляторов.

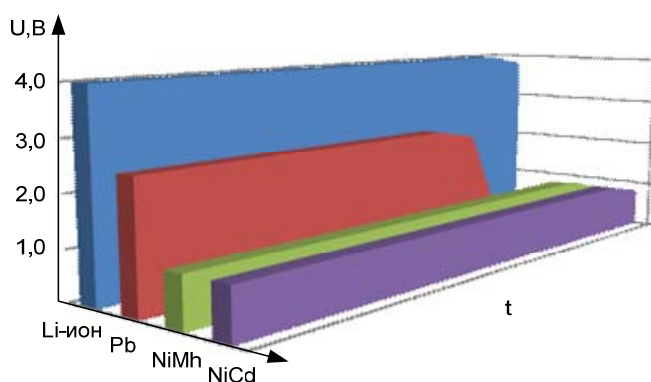


Рис. 4. Качественное представление разрядных кривых различных электрохимических систем аккумуляторов

Как видно из расчёта и гистограмм при одинаковых условиях разряда, энергия Li-ионного аккумулятора, более чем в 2,3 раза превышает разрядную энергию Pb аккумулятора и приблизительно в 3 превышает энергию NiCd и NiMh электрохимических систем.

На рис. 5 представлены весовые характеристики электрохимических систем.

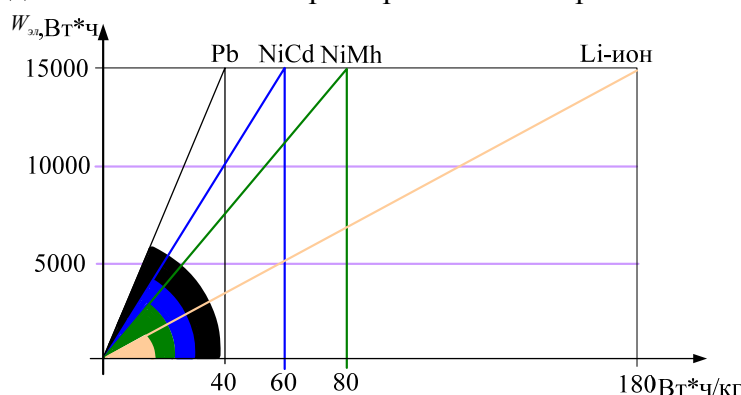


Рис. 5. Весовые показатели различных электрохимических систем аккумуляторов

Качественная оценка массового показателя накопителя, представлена в виде угла наклона соответствующей прямой к оси абсцисс (чем меньше угол, тем меньшую массу имеет аккумуляторная батарея соответствующей электрохимической системы,  $W_{эл}$  представлена в масштабе 1:100).

Количественная величина массы накопителя энергии соответствует тангенсу угла наклона прямой. Расчёт показывает, что для обеспечения количества энергии в 15 000 Вт, масса свинцово-кислотной батареи составляет 375 кг, никель-кадмиевой – 250 кг, никель-металлгидридной – 187,5 кг и Li-ионной – 83,3 кг.

Заряд и разряд аккумуляторов проводится стабилизированным током, величина которого соответствует 1С при температуре +20 °С (рис. 6).

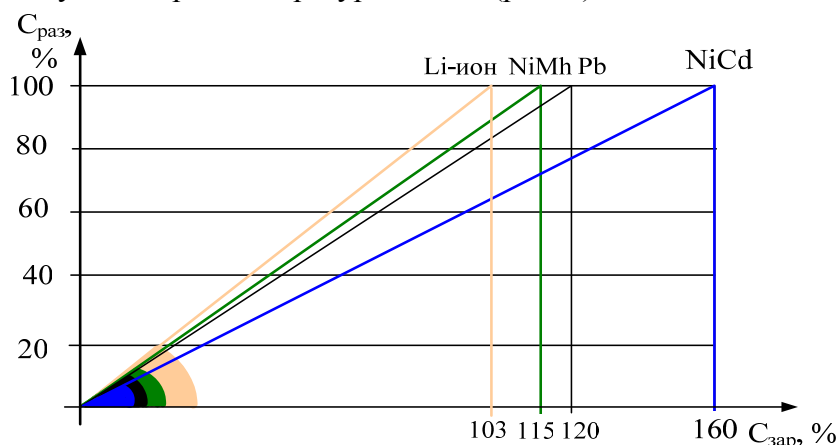


Рис. 6. Эффективность заряда различных электрохимических систем аккумуляторов

Из графиков видно, что наибольшей эффективностью при заряде обладает Li-ионная электрохимическая система, коэффициент полезного действия заряда которой близок к единице.

Так как транспортное средство эксплуатируется при различных температурах окружающей среды, необходимо учитывать влияние температуры аккумулятора на его способность отдавать энергию. При достаточно низких температурах, электрохимическим накопителям свойственно снижение разрядной ёмкости.

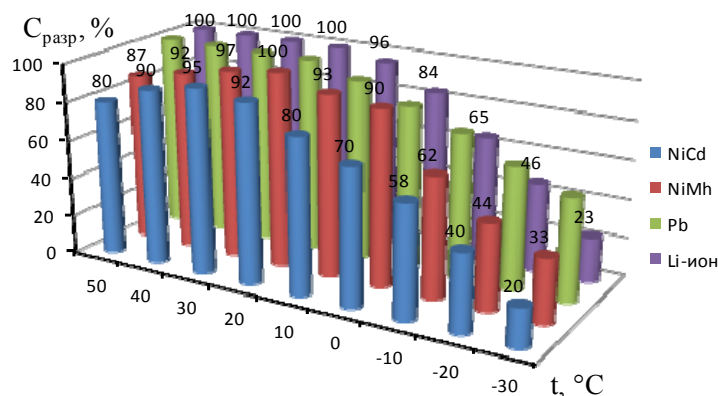


Рис. 7. Объемная гистограмма эффективности разряда различных аккумуляторов при различных температурах

Как видно из рис. 7, при положительных и отрицательных температурах наилучшие разрядные характеристики у Li-ионной и свинцово-кислотной электрохимических систем.

Самая низкая стоимость аккумулятора (0,12 \$/Вт·ч). Li-ионный аккумулятор в призматическом исполнении является наиболее дорогим из представленных систем, стоимость единицы энергии которого на сегодняшний день составляет (1,0 \$/Вт·ч).

На рис. 8 показаны массогабаритные показатели для обеспечения энергией 15000 Вт·ч. По осям координат отложены энергия, масса и объем.

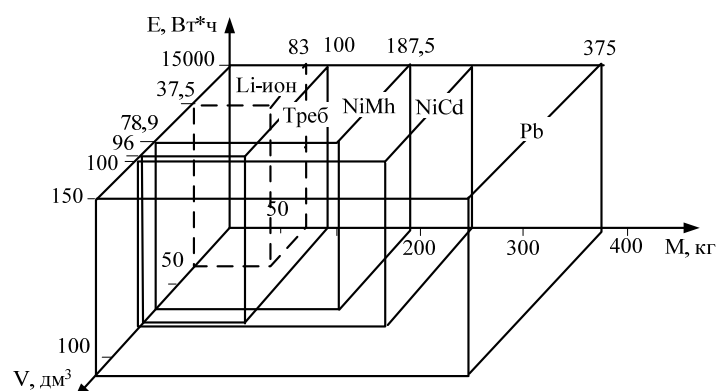


Рис. 8. Массогабаритные показатели аккумуляторных батарей

В настоящее время аккумуляторные батареи, выпускаемые заводом-изготовителем только в сухозаряженном состоянии, имеют срок хранения батарей без эксплуатации не более двух лет (гарантийный срок хранения 1 год). Рациональный уход за аккумулятором продлевает срок его эксплуатации [7].

Только часть энергии, которая поступает расходуется на заряд аккумулятора, другая часть превращается в тепло. Можно ввести понятие КПД процесса зарядки аккумулятора. Это та часть энергии, поступающей от зарядного устройства, которая запасается в аккумуляторе. Значение КПД никогда не бывает 100 %, при одних условиях подзарядки КПД выше, других – ниже. КПД может быть достаточно высоким, что позволяет проводить зарядку большими токами не опасаясь перегрева аккумулятора. Химические реакции, протекающие в NiMH аккумуляторе во время его подзарядки, является экзотермическими, в отличие от NiCd аккумуляторов, где они эндотермические. Это означает, что КПД зарядки NiMH аккумуляторов ниже, и они больше нагреваются. Это требует тщательного контроля процесса зарядки [8].

Степень изношенности аккумулятора влияет на КПД подзарядки. У старого аккумулятора ниже КПД. Для нового аккумулятора КПД не превышает 85 % при условии

подзарядки малым током. Для аккумулятора, который эксплуатируется уже не один год, КПД подзарядки составляет не более 50...60 %. Следует помнить, что при снижении температуры КПД зарядки падает. КПД современных аккумуляторов по емкости равен 0,85. КПД аккумулятора по энергии (отдача аккумулятора) определяется как отношение емкости по энергии при разрядке к емкости заряженного аккумулятора и для современных аккумуляторов составляет 0,68 [3–9].

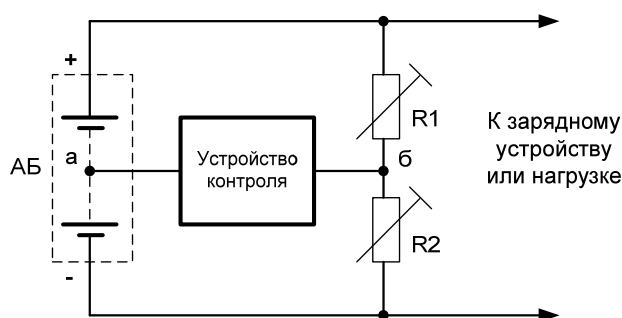


Рис. 9. Электротехнический комплекс контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей

С целью выявления неисправностей в авиационных аккумуляторных батареях выполняется постоянный контроль над состоянием их параметров во всех режимах работы с помощью разработанной системы контроля (рис. 9).

Неисправности в аккумуляторной батарее определяют путем сравнения напряжений на двух половинах батареи. Систему контроля выполняют в виде делителя напряжения и устройства контроля разности напряжений между двумя частями батареи аккумуляторов. Делитель напряжения выполняют с помощью последовательно соединенных резисторов, которые подключают к контактам аккумуляторной батареи. Устройство контроля по разнице напряжения подключают между средней точкой аккумуляторной батареи и средней точкой делителя напряжения. Аккумуляторную батарею с устройством контроля подключают к нагрузке или к зарядному устройству.

Процесс выявления неисправностей в аккумуляторной батарее реализуется следующим образом. Устройство контроля разности напряжений на двух половинах аккумуляторной батареи находится между точкой «а» и средней точкой делителя «б» напряжения. Делитель напряжения выполняется последовательно соединенными резисторами R1 и R2, которые подключаются к контактам аккумуляторной батареи («+», «-») (рис. 9) [10].

При неисправности аккумуляторной батареи в любых эксплуатационных режимах напряжение между средней точкой батареи «а» и средней точкой делителя «б» напряжения близкое к нулю.

При неисправности аккумуляторной батареи, например, коротких замыканий, обрывов внутри отдельных элементов, обрывов внешних соединений элементов батареи, изменения внутренних сопротивлений и сопротивлений межэлементных соединений, изменения ёмкости, переплюсовки элементов и т. д., появляется напряжение, которое будет зафиксировано устройством контроля [11].

Своевременное выявление неисправностей аккумуляторных батарей позволяет ограничить их разряд, увеличить надёжность функционирования электротехнического комплекса летательного аппарата и уменьшить расходы на эксплуатацию.

**Выводы и предложения.** 1. Сделан анализ особенностей эксплуатации авиационных аккумуляторных батарей в составе бортовых электротехнических комплексов летательных аппаратов.

2. После проведенного сравнительного анализа характеристик можно сделать вывод, что очевидные преимущества практически по всем основным параметрам имеют Li-ионные

аккумуляторы, а накопитель энергии, построенный на базе этих аккумуляторов, соответствует требованиям технического задания на источник энергии тягового электропривода.

3. Предложено для дальнейшей практической реализации разработанный электро-технический комплекс контроля состояния авиационных аккумуляторных батарей, с целью выявления неисправностей в аккумуляторных батареях в составе бортовых комплексов летательных аппаратов и обеспечения постоянного контроля за состоянием их параметров во всех режимах работы.

#### Список использованных источников

1. Bagotsky V. S. Electrochemical power sources : batteries, fuel cells, and supercapacitors / V. S. Bagotsky, A. M. Skundin, Y. M. Volfkovich. – Pennington: ECS, 2005. – 400 p.
2. *Безпека авіації* / [В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін.] ; за ред. В. П. Бабака. – К. : Техніка, 2004. – 583 с.
3. *Руководство по управлению безопасностью полетов* [Электронный ресурс]: Doc 9859 AN/460. / Международная организация гражданской авиации. – Издание второе. – Монреаль, 2009. – 363 с. – Режим з доступу: <http://aviadocs.net/icaodocs/Docs/>.
4. Коптев А. Н. Авиационное и радиоэлектронное оборудование воздушных судов гражданской авиации [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие / А. Н. Коптев ; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. ( 164 Мбайт). – Самара, 2011.
5. Багоцкий В. С. Химические источники тока / В. С. Багоцкий, А. М. Скудин. – М. : Энергоиздат, 1981. – 360 с.
6. Брускин Д. Э. Электроснабжение летательных аппаратов / Д. Э. Брускин, И. М. Синдеев. – М. : Высшая школа, 1988. – 263 с.
7. *О типе и мощности аккумуляторных батарей для системы управления и IGBT преобразователя синхронного тягового двигателя* / И. О. Синчук, О. Е. Мельник, Д. А. Шокарьов, С. Н. Бойко // *Технічна електродинаміка. Тематичний випуск «Силова електроніка та енергоефективність»*. Ч. 2. – Х. : Інститут Електродинаміки НАН України, 2012. – С. 87–91.
8. Хеченашвили А. Микропроцессорные системы безопасности химических источников тока / А. Хеченашвили // VI межд. конференция «Фундаментальные проблемы электрохимической энергетики»; Саратов, 5-9 сентября 2005. – Саратов : Изд-во Саратовского университета, 2005. – С. 406–408.
9. Декларацийний патент на корисну модель № 84633, Україна, H02P9/00. Система керування асинхронним генератором у складі вітроелектротехнічного комплексу / О. М. Сінчук, Д. А. Михайличенко, С. М. Бойко, М. А. Щербак ; Патентовласник: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. – № u201305538 ; заявл. 29.04.2013, опубл. 25.10.2013, Бюл. № 20.
10. Патент України, МПК H01M 10/48 Пристрій для контролю справності тягових акумуляторних батарей / Сінчук О.М., Сінчук І.О., Гузов Е.С., Сменова Л.В., Петриченко А.А., С.М. Бойко; патент України № 95416. – №u201407090 ; заявл. 23.06.2014 ; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24. – 4 с.
11. Особенности эксплуатации автономной ветроэнергетической установки в подземных горных выработках железорудных шахт / О. М. Сінчук, Д. А. Михайличенко, С. М. Бойко, О. М. Городній // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2013. – № 3 (67). – С. 224–232.

#### References

1. Bagotsky, V.S., Skundin, A.M., Volfkovich, Y.M. (2005). *Electrochemical power sources: batteries, fuel cells, and supercapacitors*. Pennington: ECS.
2. Babak, V.P. (ed.), Kharchenko, V.P., Maksimov, V.O. et al. (2004). *Bezpeka aviatsiyi [Aviation Safety]*. Kyiv: Tehnika (in Ukrainian).
3. *Rukovodstvo po upravleniyu bezopasnostyu poletov [Safety Management Guide]*: Doc 9859 AN/460 (2009) (2<sup>nd</sup> ed.). Monreal. Retrieved from <http://aviadocs.net/icaodocs/Docs/>.
4. Koptev, A. N. *Aviatsionnoe i radioelektronnoe oborudovanie vozdushnykh sudov grazhdanskoy aviatsii [Aviation and radio electronic equipment of aircraft of civil aviation]*: Elektron. tekstovyye i graf. dan. (164 Mbayt). Samara, 2011.
5. Bagotskiy, V.S., Skudin, A.M. (1981). *Himicheskie istochniki toka [Chemical current sources]*. Moscow: Energoizdat (in Russian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Bruskin, D.E., Sindeev, I.M. (1988). *Elektrosnabzhenie letatelnykh apparatov [Electric power supply of aircraft]*. Moscow: Vysshaya shkola (in Russian).
7. Sinchuk, I.O., Melnik, O.E., Shokarov, D.A., Boyko, S.N. (2012). O tipe i moschnosti akkumulyatornykh batarey dlya sistemy upravleniya i IGBT preobrazovatelya sinhronnogo tyagovogo dvigatelya [About the type and capacity of the battery for the control system and the IGBT converter of the synchronous traction motor]. *Tekhnichna Elektrodinamika. Tematichnyi vipusk «Silova elektronika ta energoefektivnist» – Technical electrodynamics. Thematic issue “Power Electronics and Energy Efficiency”*. Part 2. Kharkiv: Institut elektrodinamiki NAN Ukraini (in Ukrainian).
8. Khechenashvili, A. (2005). Mikroprotsessornyye sistemy bezopasnosti himicheskikh istochnikov toka [Microprocessor safety systems for chemical current sources]. Proceeding from VI Mezhd. Konferentsiya “Fundamentalnyye problemy elektrohimicheskoy energetiki” – VI Int. conference “Fundamental Problems of Electrochemical Energy” (Saratov, September 5-9, 2005). Saratov: Izdatelstvo Saratovskogo universiteta, pp. 406–408 (in Russian).
9. Sinchuk, O.M., Mihaylichenko, D.A., Boyko, S.M., Scherbak, M.A. (2013). *Sistema keruvannya asinhronnim generatorom u skladi vitroelektrotehnichnogo kompleksu [Control system of asynchronous generator in the structure of the wind-electrotechnical complex]*. Deklaratsiyniy patent na korisnu model № 84633, Ukrayina, H02P9/00.
10. Sinchuk, O.M., Sinchuk, I.O., Guzov, E.S., Smenova, L.V., Petrichenko, A.A., Boyko, S.M. (2014). *Pristriy dlya kontrolyu spravnosti tyagovih akumulyatornih batarey [Device for monitoring the serviceability of traction batteries]*. Patent Ukrayini № 95416.
11. Sinchuk, O. M., Mihaylichenko, D. A., Boyko, S. M., Gorodniy, O. M. (2013). Osobennosti ekspluatatsii avtonomnoy vetroenergeticheskoy ustanovki v podzemnykh gornykh v yirabotkakh zhelezorudnykh shaht [Features of the operation of an autonomous wind power plant in underground mines of iron ore mines]. *Visnik Chernihivskoho derzhavnoho tehnolohichnoho universitetu. Seriya “Tekhnichni nauki” – Visnik of Chernihiv State Technological University. Series “Technical Sciences”*, no. 3 (67), pp. 224–232 (in Russian).

UDC 621.311.4.031

Yurii Shmelyov, Serhii Boiko, Oleksiy Gorodny,  
Olena Chernikhova, Serhii Vladov

# ELECTRICAL ENGINEERING COMPLEX FOR STATUS OF AVIATION BATTERIES

**Urgency of the research.** On aircrafts, chemical sources of current are widely used. For example, on helicopters, rechargeable batteries used as buffer and emergency sources.

**Target setting.** In turn, in view of the complex specific operating conditions, it is necessary to monitor the condition of the on-board batteries of aircraft.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A number of publications suggest a solution to this problem by checking the status of on-board batteries at the end of flights, and if possible and after each flight, which in real operating conditions takes time to diagnose and is not always possible.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Taking into account that leaded, silver-zinc and nickel-cadmium batteries used as on-board storage batteries, and as practice shows, none of the existing systems of chemical sources of current can fully satisfy all the requirements of various fields of application. In each area, one of the systems may have advantages over others. To assess the condition and efficiency of the systems of chemical current sources of aircraft, it is necessary to take into account their characteristics in the process of monitoring by means of an electrotechnical complex for monitoring the state of aviation storage batteries.

**The research objective.** In this paper, the main purpose of this work is the justification of the need for the application and development of an electrotechnical complex for monitoring the state of aviation batteries.

**The statement of basic materials.** The change in the physical properties of the ambient air affects the operation of the electrical equipment of the aircraft. The tactical and technical requirements for the equipment of aircrafts are designed taking into account the working conditions of electrical equipment and its purpose, including the following indicators: reliability and reliability of work, weight and dimensions, strength of electrical equipment, chemical resistance of electrical equipment, ease of operation and repair of electrical equipment, economic requirements. Proceeding from this, at the end of the flights, and if possible and after each flight, it is necessary to check the degree of discharge of battery batteries and their state (working capacity). In order to detect malfunctions in aircraft batteries, the monitoring of the status of their parameters in all modes of operation performed with the help of the developed control system. Timely detection of battery failures makes it possible to limit their discharge, increase the reliability of the electrical equipment of the aircraft and reduce operating costs.

**Conclusions.** The developed electro-technical complex for monitoring the state of aviation batteries have been proposed for further practical implementation in order to identify malfunctions in the battery in the airborne complexes and ensure constant monitoring of the state of their parameters in all operating modes.

**Key words:** state monitoring system; aviation batteries; charge characteristics.

Fig.: 11. Bibl.: 11.

УДК 621.311.4.031

Юрій Шмельов, Сергій Бойко, Олексій Городній,  
Олена Черніхова, Сергій Владов

## ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЮ СТАНУ АВІАЦІЙНИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ

Проведено аналіз особливостей експлуатації і можливих режимів роботи акумуляторних батарей у складі електротехнічних комплексів літаючих апаратів. Результати порівняльного аналізу характеристик акумуляторних батарей показали очевидні переваги практично за всіма основними параметрами Li-іонних акумуляторів, а накопичувач енергії, побудований на базі цих акумуляторів відповідає вимогам технічного завдання як джерело енергії тягового електропривода. Обґрунтовано необхідність застосування комплексу контролю стану авіаційних батарей. Розроблено і запропоновано для подальшої реалізації електротехнічний комплекс контролю стану авіаційних акумуляторних батарей.

**Ключові слова:** система контролю стану; авіаційні акумуляторні батареї; зарядні характеристики.

Рис.: 1. Бібл.: 11.

**Шмельов Юрій Миколайович** – кандидат технічних наук, заступник начальника коледжу з навчальної роботи, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Шмелев Юрий Николаевич** – кандидат технических наук, заместитель начальника колледжа по учебной работе, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета (ул. Победы, 17/6, г. Кременчуг, 39605, Украина).

**Shmelyov Yuri** – PhD in Technical Sciences, Deputy College Chief for Curriculum, Teacher of the Department of Energy Supply and Management Systems, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6 Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

**E-mail:** ref.nv.klknau@gmail.com

**Бойко Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського (вул. Першотравнева 20, м. Кременчук, 39600, Україна).

**Бойко Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского (ул. Первомайская 20, г. Кременчуг, 39600, Украина).

**Boiko Serhii** – PhD in Technical Sciences, Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (20 Pershotravneva Str., 39600 Kremenchuk, Ukraine).

**E-mail:** bsn1987@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

**Городній Олексій Миколайович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Городний Алексей Николаевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Gorodny Oleksiy** – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** aleksey.gorodny@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

**Web of Science:** H-1425-2016

**Scopus:** ID 55327980200; ID 56338229500; ID 57191829796.

**Черніхова Олена Сергіївна** – викладач циклової комісії менеджменту організації транспорту, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Чернихова Елена Сергеевна** – преподаватель цикловой комиссии менеджмента организации транспорта, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Украина).

**Chernikova Olena** – teacher of the Department of Management of the Organization of Transport, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6, Peremohy str., Kremenchuk, 39605, Ukraine).

**E-mail:** nml.nv.klknau@gmail.com

**Владов Сергій Ігорович** – кандидат технічних наук, завідувач навчально-методичної лабораторії, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Владов Сергей Игоревич** – кандидат технических наук, заведующий учебно-методической лаборатории, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета (ул. Победы, 17/6, г. Кременчуг, 39605, Украина).

**Vladov Serhii** – PhD in Technical Sciences, Head of Educational-methodical Laboratory, teacher of the Department of Energy Supply and Management Systems, Kremenchuk Flight College of National Aviation University (17/6, Peremohy Str., Kremenchuk, 39605, Ukraine).

**E-mail:** nml.nv.klknau@gmail.com



Віктор Шевченко, Богдан Пахалюк, Олександр Гусев

## ОГЛЯД ОСНОВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ БЕЗДРОТОВОЇ ЗАРЯДКИ НАКОПИЧУВАЧІВ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ МАЛОПОТУЖНИХ СИСТЕМ

**Актуальність теми дослідження.** Розробка нових топологій, методів розрахунку та оптимізації напівпровідникових перетворювачів для систем БПЕ дозволить підвищити передану бездротовим способом електричну енергію, розширити діапазон регулювання частоти, що зменшить витрати часу на підзарядку акумуляторів електротранспорту та підвищить зручність використання систем БПЕ за рахунок зниження чутливості до точного позиціонування приймальних і передавальних елементів, що стане передумовою більш активного впровадження електромобілів та електротранспорту. В умовах різної екологічної, демографічної, економічної ситуації у світі все більшого поширення набуває індивідуальний електротранспорт.

Вирішення поставлених завдань створить передумови для впровадження БПЕ в багатьох сферах суспільства як України, так і світу загалом (приватний транспорт, військова техніка та обладнання, побутова електроніка тощо).

**Постановка проблеми.** Нині методи бездротової передачі енергії (БПЕ), засновані на явищах електростатичної та електромагнітної індукції, набувають значного поширення в різноманітних застосуваннях. Метод БПЕ сьогодні широко використовується в малопотужних системах – бездротові зарядки мобільних телефонів, бритв, зубних щіток, малопотужних транспортних засобів.

Основні обмеження таких систем полягають у низькій ефективності при великій відстані передачі та відносно великих масогабаритних параметрах елементів, що у свою чергу призводить до високої собівартості систем БПЕ. Останнім часом з'являється все більше споживачів, які потребують передачі безконтактним способом електричної енергії від одиниць кіловат і вище.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз стану досліджень показує, що тематика досліджень, присвячених вдосконаленню систем бездротової зарядки, постійно розширюється і є надзвичайно актуальною, зокрема, за кордоном. Особливо, враховуючи розвиток електромобілів, зростає інтерес до бездротової зарядки транспортних засобів. Також є рішення індуктивних системи передачі енергії для приладів низької напруги середньої та високої потужності.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Якщо статичний та динамічний зарядці електрокарів присвячено чимало статей і розробок, то індивідуальним засобам пересування приділено менше уваги, отже, проектуванню низьковольтної бездротової зарядки для електровелосипедів, електроскутерів, велосипедів є перспективним напрямком дослідження. Сучасні дослідження спрямовані саме на досягнення зниження собівартості та підвищення ефективності систем бездротової зарядки подібних транспортних засобів.

**Постановка завдання.** Основними завданнями є огляд та порівняння існуючих топологій, методів розрахунку та напрямки оптимізації систем БПЕ.

**Викладення основного матеріалу.** У першій частині статті розглянуто загальні відомості про принципи дії і застосування ємнісного та індуктивного способу бездротової передачі енергії, наведено переваги та недоліки, ефективність. Акцентовано увагу на магнітно-резонансному зв'язку, розглянуто основні компенсаційні топології. Побудовано графіки залежності передавальної функції БПЕ від частоти для послідовно-послідовної схеми резонансу. Особливо представлено ймовірну залежність від відстані між передавачем та приймачем.

У другій частині статті зроблено аналіз існуючих силових напівпровідникових топологій БПЕ на основі індуктивного зв'язку та різних компенсаційних топологій. Спочатку аналізуються індуктивні системи передачі енергії для приладів низької напруги високої потужності. Топології первинних та вторинних dc-dc перетворювачів відбираються та порівнюються з погляду необхідної номінальної потужності та ефективності. Проаналізовано систему БПЕ на основі інвертору струму та компенсаційної резонансної PS-топології для електричних транспортних засобів та пристроїв для заряджання акумулятора. Розглянута цікава стаття, де проаналізовано та порівняно запропонований бортовий зарядний пристрій електричного транспортного засобу на базі імпедансної ланки зі звичайним БЗП. Далі представлено варіант топології та економічно ефективної конструкції антен для передачі бездротової енергії в електричних скутерах. Крім суто схематичних рішень, розглянуто інші рішення у сфері силових електроніки, які поліпшать ефективність бездротової передачі електроенергії. Представлено новий високоефективний планарний підхід до об'єднання всіх магнітних компонентів первинно-паралельного ізольованого підсилюючого перетворювача у структуру форми E-I-E-core (планарний інтегрований магнетик – planar integrated magnetic – PIM).

**Висновки.** У статті виконаний огляд основних технологій бездротової зарядки накопичувачів енергії для малопотужних систем. Було виявлено, що індуктивний спосіб передачі енергії є найбільш ефективним на цей момент. Водночас слід відзначити, що при збільшенні відстані передачі ефективність значно падає. Покращення геометрії магнітних компонентів є основним напрямком дослідження в цьому напрямку. Основні топологічні рішення схем силових електроніки зводяться до реалізації чотирьох основних способів компенсації для отримання синусоїдальної напруги. Тобто для різних задач обираються різні топології з тими чи іншими модифікаціями, залежно, передусім, від потужності, яку потрібно передати та навантаження. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на зменшення кількості напівпровідників та альтернативним способом реалізації компенсації.

**Ключові слова:** бездротова передача енергії; магнітно-резонансний зв'язок; компенсаційна топологія; бортовий зарядний пристрій; високочастотний інвертор.

Рис.: 8. Бібл.: 25.

**Постановка проблеми.** Методи бездротової передачі енергії (БПЕ), засновані на явищах електростатичної та електромагнітної індукції, набувають значного поширення в різноманітних застосуваннях. Метод БПЕ є однією із ключових технологій майбутнього.

ого, хоча і відомий з кінця XIX сторіччя (досліди Н. Тесла), і сьогодні широко використовується в малопотужних системах – бездротові зарядки мобільних телефонів, бритв, зубних щіток, малопотужних транспортних засобів.

Основні обмеження таких систем полягають у низькій ефективності при великій відстані передачі та відносно великих масогабаритних параметрах елементів, що у свою чергу призводить до високої собівартості систем БПЕ. Останнім часом з'являється все більше споживачів, які потребують передачі безконтактним способом електричної енергії від одиниць кіловат і вище, зокрема для підзарядки акумуляторів електромобілів, одночасної підзарядки акумуляторів портативних пристроїв військового застосування (дрони, радіостанції тощо), живлення елементів промислових систем автоматизації та робототехніки.

З іншого боку, вартість акумуляторних батарей є іншою важливою складовою собівартості таких систем. Через складність реалізації високоефективної системи на відносно низьких напругах, дешеві низьковольтні батареї практично не використовуються. Водночас високовольтні батареї є більш складними та дорогими в обслуговуванні.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз стану досліджень показує, що тематика досліджень, присвячених вдосконаленню систем бездротової зарядки, постійно розширюється і є надзвичайно актуальною, зокрема, за кордоном [1–5]. Особливо, враховуючи розвиток електромобілів, зростає інтерес до бездротової зарядки транспортних засобів. Відомі аналоги таких систем. Разом з тим широкому впровадженню заважає недосконалість технологій та висока собівартість таких систем. Якщо статичній та динамічній зарядці електрокарів присвячено чимало статей і розробок, то індивідуальним засобам пересування приділено менше уваги, отже, проектування низьковольтної бездротової зарядки для електровелосипедів, електроскутерів, велосипедів є перспективним напрямком дослідження. Сучасні дослідження спрямовані саме на досягнення зниження собівартості та підвищення ефективності систем бездротової зарядки подібних транспортних засобів.

**Мета статті.** Основною метою статті є огляд існуючих топологій, методів розрахунку та напрямки оптимізації систем БПЕ.

**Загальні відомості про застосування індуктивного та ємнісного способу бездротової передачі електроенергії.**

З-поміж основних способів бездротової передачі енергії (мікрохвильове й оптичне випромінювання, методи електричної провідності, електростатичної та електромагнітної індукції) найбільше практичне поширення і застосування отримали методи електростатичної та електромагнітної індукції.

**Метод електростатичної індукції.** Метод був уперше застосований Н. Теслою для живлення бездротових ламп по повітрю. Електростатичний або ємнісний зв'язок являє собою проходження електроенергії через діелектрик. На практиці це градієнт електричного поля або диференціальна ємність між двома або більше ізольованими клемми, пластинами, електродами або вузлами, що підносяться над провідною поверхнею. Електричне поле створюється за рахунок заряду пластин змінним струмом високої частоти і високого потенціалу. Ємність між двома електродами і живлячим пристроєм утворює різницю потенціалів. Електрична енергія, що передається за допомогою електростатичної індукції, може бути використана у приймальному пристрої, наприклад, такому як бездротові лампи. Тесла продемонстрував бездротове живлення ламп освітлення енергією, переданою змінним електричним полем. У майбутньому планується, що пристрої будуть отримувати енергію з повітря, за допомогою передавального терміналу.

Цей спосіб має більшу відстань передачі, аніж у методі електромагнітної індукції, однак нижчу ефективність і потужність передачі [6]. Переважна більшість робіт вітчизняних учених присвячена БПЕ на основі саме ємнісного зв'язку [7–9].

**Метод електромагнітної індукції (індуктивний зв'язок).** При бездротовій передачі енергії методом електромагнітної індукції використовується ближнє електромагнітне поле. Завдяки електродинамічній індукції, змінний електричний струм, що протікає через первинну обмотку, створює змінне магнітне поле, яке діє на вторинну обмотку, індукуючи в ній електричний струм. Для досягнення високої ефективності взаємодія має бути досить тісною. При віддаленні вторинної обмотки від первинної все більша частина магнітного поля не досягає вторинної обмотки й індуктивний зв'язок стає все більш неефективним через втрати.

Повітряний трансформатор є найпростішим пристроєм для бездротової передачі енергії. Первинна і вторинна обмотки трансформатора прямо не пов'язані. Передача енергії здійснюється за допомогою процесу, відомого як взаємна індукція. Основною функцією трансформатора є збільшення або зменшення первинної напруги. Основним недоліком цього методу бездротової передачі є дуже невелика відстань його дії. Приймач повинен перебувати в безпосередній близькості до передавача для того, щоб ефективно з ним взаємодіяти.

Найпростіша топологія із чисто індуктивним зв'язком та компенсуючими конденсаторами представлена на рис. 1, а. За допомогою конденсаторів, що утворюють резонансні контури, збільшується ефективність передачі.

Еквівалентні схеми заміщення спарених індуктивностей представлені на рис. 1, б та 1, в. На першій схемі (рис. 1, б) спарені індуктивності представлені через самоіндуктивності  $L_1$ ,  $L_2$  та взаємоіндуктивність  $M$ . У другому варіанті схеми заміщення індуктивності представлені ідеалізованим трансформатором, індуктивністю намагнічування та індуктивністю розсіювання. При цьому ці параметри напряму виражаються через параметри в попередній схемі.  $R_1$ ,  $R_2$  – активні опори, враховують омичні втрати первинного та вторинного кіл;  $L_1-M$ ,  $L_2-M$  – індуктивності розсіювання основного потоку в обмотках первинного та вторинного кіл. Взаємоіндукція виражає індуктивність намагнічування.

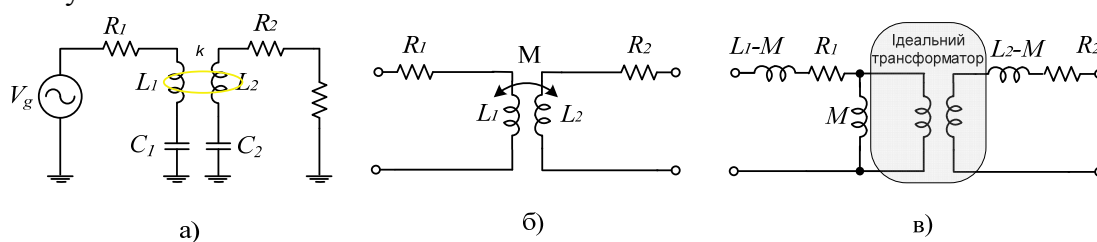


Рис. 1. Резонансний спосіб БПЕ:

а – схема індуктивного резонансного способу БПЕ; б – топологія БПЕ з індуктивним зв'язком; в – схема заміщення спарених індуктивностей

Системи з виключно індуктивним зв'язком мають ефективність значно нижчу за системи із магнітно-резонансним зв'язком. Великий повітряний розрив трансформатора збільшує витік потоку  $\Phi$ , як наслідок, призводить до вищої індуктивності витіку в порівнянні зі звичайними трансформаторами. Ефективність та потужність ППЕ, як правило, не перевищують 50 % [10]. Використання резонансу дещо збільшує дальність передачі [11]. При резонансній індукції передавач і приймач налаштовані на одну частоту. Таким чином, значна потужність може бути передана між двома взаємно налаштованими LC-ланцюгами з відносно невисоким коефіцієнтом зв'язку  $k$ .

Асоціація споживачів електроніки класифікує технології бездротових зарядних пристроїв за величиною коефіцієнта зв'язку контурів [12]. При значенні коефіцієнта зв'язку до 0,1 система називається слабозв'язаною, а якщо коефіцієнт наближається до 1, то це

сильнозв'язана система. Сильнозв'язані системи називаються магнітно-індуктивними, а слабозв'язані – магнітно-резонансними.

Магнітно-резонансна технологія менш критична до взаємного розташування котушок, і з одним передавачем може працювати одразу кілька приймачів, тобто один зарядний пристрій може заряджати кілька пристроїв. Крім того, у магнітно-резонансних системах, з налаштованими в резонанс котушками зменшення ККД при збільшенні відстані між котушками відбувається повільніше в порівнянні з індуктивними системами. Вищеперелічені факти було доведено зокрема у процесі глибокого аналізу в роботі [13]. Ще більша перевага в ефективності магнітно-резонансних систем досягається, коли первинна і вторинна котушка мають різні розміри. У цьому випадку одну первинну котушку можна використовувати для зарядки декількох пристроїв одночасно [14].

Згідно з рекомендаціями стандартів [12], заснованих на технології магнітної індуктивності, резонансна частота вибирається з урахуванням навантаження і може змінюватися в досить широкому діапазоні. У зв'язку з цим ефективна добротність системи відносно низька порівняно з рішеннями на базі технології магнітного резонансу. Оптимальна ефективність системи може бути досягнута тільки на певній резонансній частоті і при оптимальному опорі навантаження. У разі використання магнітно-резонансної технології енергія передається на строго визначеній резонансній частоті, отже, добротність системи вище, але потрібне дуже точне узгодження резонансних частот.

Передавальна і приймальна котушки, як правило, являють собою одношарові соленоїди або плоску спіраль з набором конденсаторів, які дозволяють налаштувати приймальний елемент на частоту передавача.

Існує 4 базові компенсаційні топології (рис. 2), на основі яких створюється переважна більшість напівпровідникових рішень: послідовно-послідовні (SS), послідовно-паралельні (SP), паралельно-послідовні (PS) та паралельно-паралельні (PP).

Під час аналізу застосування існуючих топологій було виявлено, що найменш часто використовується схема із паралельно-послідовним (PS) включенням (рис. 2, *г*). Як виняток, можна навести випадок при передачі енергії від сонячних панелей, тобто при специфічних входних параметрах, які забезпечують ВАХ панелей [15].

Загальна схема на основі PS топології забезпечує м'яке перемикання всіх напівпровідникових пристроїв. Тобто у деяких окремих випадках ця топологія може бути найкращим рішенням.

У паралельно-паралельній топології (PP) індуктивної БПЕ з резонансним перетворювачем (рис. 2, *б*), конденсатори паралельно розташовані на вході та виході схеми.

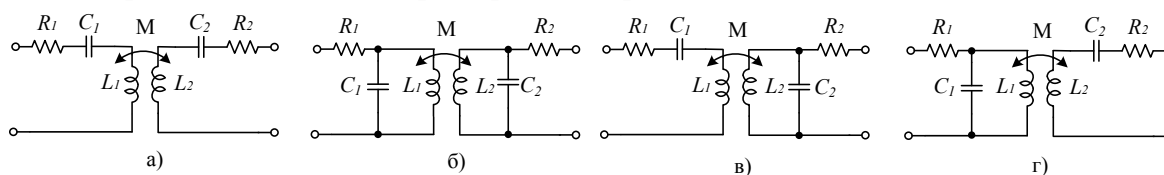


Рис. 2. Компенсаційні топології ІПЕ:

*а* – послідовно-послідовна (SS); *б* – паралельно-паралельна (PP);  
*в* – послідовно-паралельна (SP); *г* – паралельно-послідовна (PS)

Згідно з дослідженнями [16] паралельно-паралельна топологія має дещо більші переваги при значному навантаженні, в інших випадках в послідовно-послідовній топології буде більша ефективність. Сюди ж варто додати, що паралельна топологія на стороні приймача є кращим рішенням при деяких навантаженнях.

У послідовно-послідовній (SS) топології конденсатори послідовно розташовані на первинній та вторинній стороні, як показано на рис. 2, *а*. Основною метою цієї конфігурації є усунення індуктивності витoku [10]. Передана потужність на частоті резонансу не залежить від опору навантаження і ККД на цьому етапі є максимальним.

У [5] описано такі висновки щодо порівнянь топологій. Порівнюючи SS з параметрами SP (рис. 2, в), можна побачити, що вибір топології сильно впливає на вибір первинної ємності. Важливою перевагою послідовно-послідовної топології є те, що первинна ємність не залежить як від коефіцієнта магнітного зв'язку, так і від навантаження. Натомість послідовно-паралельна топологія залежить від коефіцієнта зв'язку і вимагає більшого значення ємності для сильного магнітного зв'язку.

У таких приладах, як зарядні пристрої для акумулятора, навантаження постійно змінюється. Якщо підсилення напруги робочої точки чутливе до значення навантаження, тоді напруга навантаження змінюється протягом процесу заряджання. Порівняння частотного аналізу перетворювачів на основі SS-топології та PP-топології показує, що SS є найкращою топологією для зарядних пристроїв електричних машин [10].

Тобто для різних задач обираються різні топології з тими чи іншими модифікаціями, залежно від потужності, яку потрібно передати в навантаження.

Основне обмеження індуктивної передачі енергії полягає в коефіцієнті магнітного зв'язку, добротності резонансного контуру та ефективності силового перетворювача. Окремо слід відзначити, що ефективність такої системи сильно залежить від частоти резонансного контуру, яка має збігатися з частотою комутації напівпровідникових ключів. Вирішення цієї проблеми зводиться до використання складних систем зворотного зв'язку і налаштування частоти комутації. Саме ці проблеми обмежують широке впровадження таких систем. Відповідно, основні подальші вдосконалення існуючих рішень полягатимуть в оптимізації магнітних компонентів і силового перетворювача електроенергії.

На рис. 3, а наведено приклад залежності передавальної функції БПЕ від частоти для послідовно-послідовної схеми резонансу. Окремо представлена типова залежність індуктивного зв'язку від відстані між передавачем та приймачем (рис. 3, б). З експоненційного характеру залежності можна зробити висновок, що ефективність системи значною мірою залежить від відстані між передавачем та приймачем. Залежність передавальної характеристики від відстані є одним з ключових факторів доцільності синхронізації передавальної і приймальної частин та підстройки частоти.

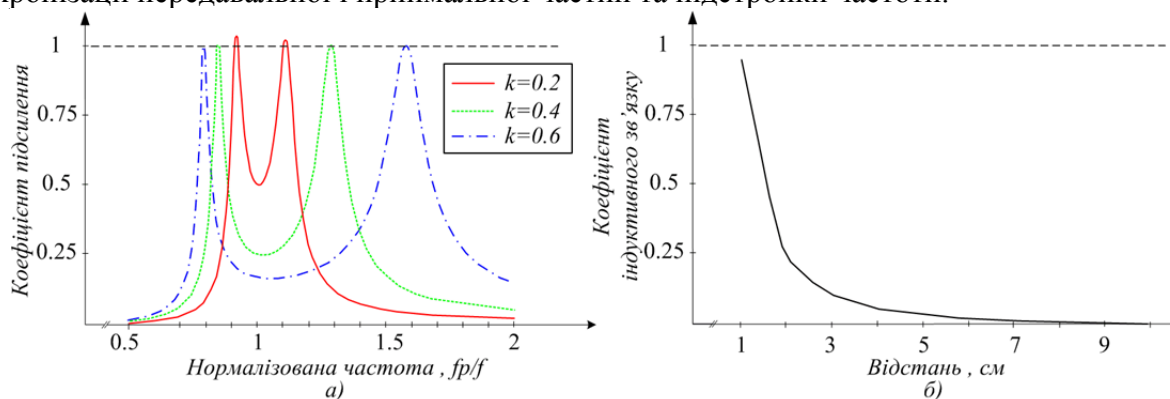


Рис. 3. Залежності:

а – передавальної функції БПЕ від частоти; б – індуктивного зв'язку від відстані

Резонансна електродинамічна індукція застосовується для зарядки акумуляторних батарей портативних пристроїв, таких як портативні комп'ютери і стільникові телефони, медичні імпланти й електромобілі. Техніка локалізованої зарядки використовує вибір відповідної передавальної котушки у структурі масиву багат шарових обмоток. Резонанс використовується як у панелі бездротової зарядки (передавальному контуру), так і в модулі приймача (вбудованого в навантаження) для забезпечення максимальної ефективності передачі енергії. Така техніка передачі підходить універсальним бездротовим зарядним панелям для підзарядки портативної електроніки, такої, наприклад, як мобільні телефони. Техніка прийнята як частина стандарту бездротової зарядки Qi [14].

Зарядка низьковольтних накопичувачів енергії по безпроводному інтерфейсу є одним з останніх технологічних досягнень, що набувають масового характеру. Розвиток технології безпроводної зарядки є одним з пріоритетних напрямків досліджень провідних світових лабораторій із силової електроніки.

У силу більшої мобільності і компактності електровелосипедів, електроскутерів, електромобілів, порівняно із класичною дротовою системою зарядки виникає менше труднощів. Однак багато електромобілів та транспорту із потужністю системи менше 20 кВт (наприклад, підйомники, навантажувачі для внутрішнього промислового транспорту, індивідуальний електротранспорт) працюють від свинцево-кислотних батарей з напругою 12, 24, 48, 60 або 96 В. Через низьку напругу батареї вони характеризуються великими струмами зарядки та розрядження, тому непросто досягти високої ефективності такої системи. При успішному вирішенні цієї проблеми це може допомогти зменшити простір на обслуговування транспортних засобів та підвищити доступність, що важливо, особливо у промисловості.

**Аналіз існуючих напівпровідникових топологій бездротової передачі енергії на основі індуктивного зв'язку.**

Головним завданням є реалізація однієї з еквівалентних схем (рис. 2). Це можна зробити за допомогою напівпровідникових перетворювачів. Далі представлено декілька силових напівпровідникових топологій БПЕ.

У дослідженнях [17; 18] аналізуються індуктивні системи передачі енергії для приладів низької напруги високої потужності. Тому топології первинних та вторинних dc-dc перетворювачів відбираються та порівнюються з погляду необхідної номінальної потужності та ефективності. Аналіз проводиться для системи БПЕ з вхідною напругою 400 В, напругою акумулятора 24 В та номінальною вихідною потужністю 6 кВт. Схема реалізована на послідовно-послідовній топології БПЕ.

Силова електроніка в системах індуктивної БПЕ повинна виконувати 3 основні функції:

1. Передачі енергії між первинною та вторинною сторонами.
2. Управління передачею енергії під впливом зміни вхідних і вихідних параметрів.
3. Зробити систему максимально ефективною.

На рис. 4, а високочастотний інвертор (ВІ) перетворює первинну напругу постійного струму в напругу змінного струму з високою частотою, тим самим забезпечуючи передачу енергії на вторинну сторону. У цій простій конфігурації ВІ може також використовуватися для керування вихідною потужністю системи, змінюючи робочий цикл. Проте ефективність такого методу може бути знівельована від високих втрат у ВІ внаслідок жорстких умов перемикавання.

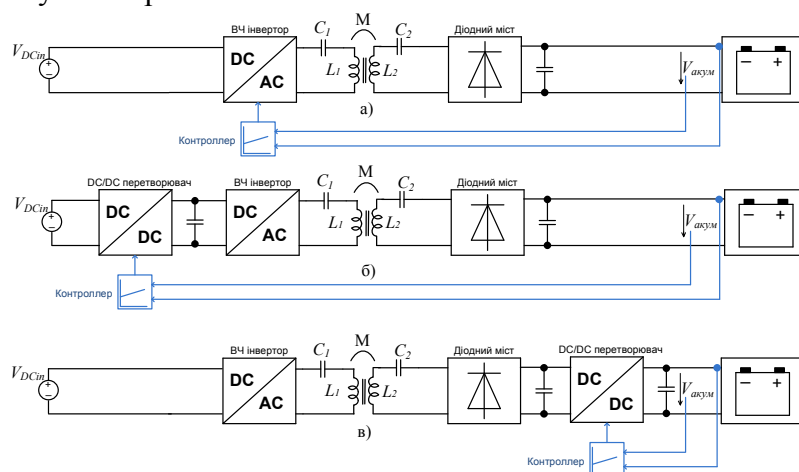


Рис. 4. Послідовні топології зі схемою контролю вихідної потужності:  
а – без DC/DC перетворювача; б – із первинним DC/DC перетворювачем;  
в – із вторинним DC/DC перетворювачем

Інші варіанти показані на рис. 4, б та 4, в, де додатковий dc-dc перетворювач встановлюється або на первинну сторону, як у [18], або на вторинній стороні [17; 18] для керування передачею енергії. Як наслідок, ВІ може працювати майже з м'яким перемиканням, що підвищує ефективність. Що стосується вибору правильної топології для низької напруги, то третій варіант має деякі помітні переваги. Через те, що напруга системи від'єднана від напруги акумулятора dc-dc перетворювачем, у резонансному ланцюзі та випрямлячі можна уникнути високих струмів у діапазоні струму зарядки (від 200 до 250 А на 6 кВт), що призводить до зниження втрат провідності. Електрична схема показана на рис. 5. Крім того, на відміну від інших топологій, ніякого зв'язку через повітряний зазор для керування вихідною потужністю не потрібно. Через вищенаведені переваги топологія з вторинним перетворенням є перспективним рішенням [17; 18]. Інші варіанти є менш доцільними і доступними через високу складність керування.

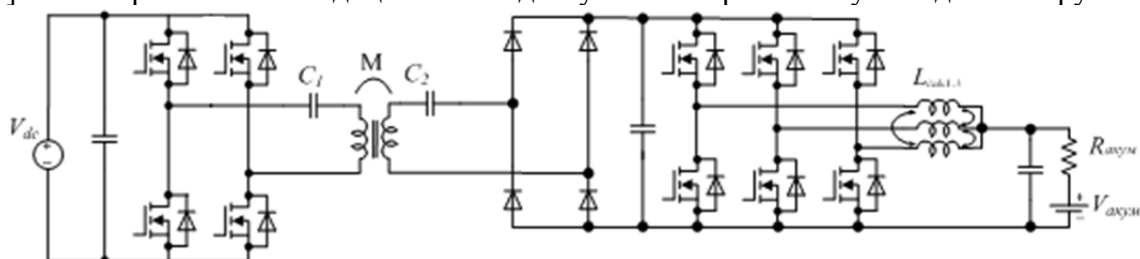


Рис. 5. Схема силової топології для системи ППЕ

для низьковольтних високопотужних застосувань

ВІ реалізується у повномостовій конфігурації, оскільки це найпоширеніша топологія, що використовується у багатьох рішеннях з найбільшою ефективністю. На вторинній стороні діодний випрямляч використовується для перетворення напруги від змінного струму до постійного струму. Можливий варіант використання топології активного випрямляча. У пристроях з низькою напругою для підвищення ефективності можуть використовуватись багатофазні dc-dc перетворювачі з чергуванням фаз і спареними індуктивностями [10]. Індуктивність визначається так, щоб максимальна пульсація фазового струму становила 30 % від загального номінального вихідного струму.

Показано в багатьох роботах, що топологія з вторинним dc-dc перетворенням має переваги в тому, що вона є більш збалансованою, досягає вищої ефективності та відсутній зв'язок між первинною та вторинною сторонами для керування вихідною потужністю. Також виявлено, що випрямляч та dc-dc перетворювач забезпечують більшість втрат потужності в системі БПЕ. Хоча навіть у такому випадку ефективність між 89,0 і 94,2 % може бути досягнута в будь-якій точці експлуатації для часткового та повного завантаження прототипу, побудованого в лабораторії.

У статті [15] проаналізовано систему БПЕ на основі інвертора струму та компенсаційної резонансної PS-топології для електричних транспортних засобів та пристроїв для заряджання акумулятора. Розроблено лабораторний прототип 420 Вт, максимальна ефективність етапу WPT DC-DC, близька до 90 %, а коефіцієнт зчеплення – 18 %. Вхідна індуктивність  $L_d$  на загальній схемі (рис. 6) у цій статті обмежує струм короткого замикання через напівпровідникові прилади та котушки. Це є важливою особливістю цієї топології. Метою послідовних діодів (D1-D2') є запобігання зворотного струму. Наприклад, коли включені транзистори S1 і S2, і якщо напруга на C1 негативна, то C1 буде короткозамкненим через S2'-D2. Однак, якщо вихідна напруга та струм інвертора перебувають у тій же фазі, то немає потреби в цих діодах. Проте на практиці параметри ланцюга і взаємні індуктивності змінюються, отже, коефіцієнт потужності відхиляється від одиниці.



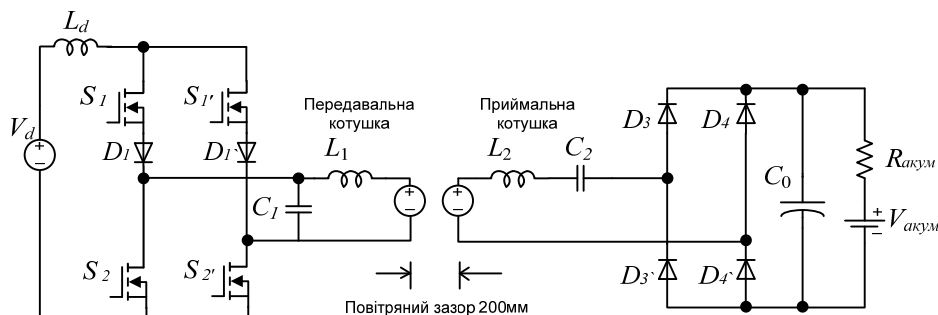


Рис. 6. БПЕ (DC-DC перетворення) із використанням повномостового перетворювача струму

Щодо оптимізації схеми, то було відзначено, що зворотні блокуючі ізольовані вхідні біполярні транзистори (RV-IGBT) могли б усунути використання діодів, що обов'язкові при застосуванні транзисторів MOSFET. Однак нині RV-IGBT в основному тільки розробляються і недоступні широкому колу користувачів. Послідовно з'єднаний конденсатор  $C_2$  потрібен для досягнення бажаного резонансу в котушці приймача. Таким чином, компенсується велике падіння напруги за рахунок індуктивності котушки приймача  $L_2$ .

Здебільшого додаткова індуктивність на вході може бути не найкращим рішенням. Проте в конкретному випадку, при специфічних вхідних параметрах, які забезпечують, наприклад, ВАХ сонячних панелей, ця топологія може бути більш вигідною.

Цікава топологія розглянута у статті [19]. У цій роботі проаналізовано та порівняно запропонований бортовий зарядний пристрій електричного транспортного засобу (БЗП) на базі імпедансної ланки зі звичайним БЗП (рис. 7, б). Завдяки імпедансній ланці, інвертор одночасно регулює вихідну напругу системи без додавання додаткових напівпровідникових перетворювачів (рис. 7, а).

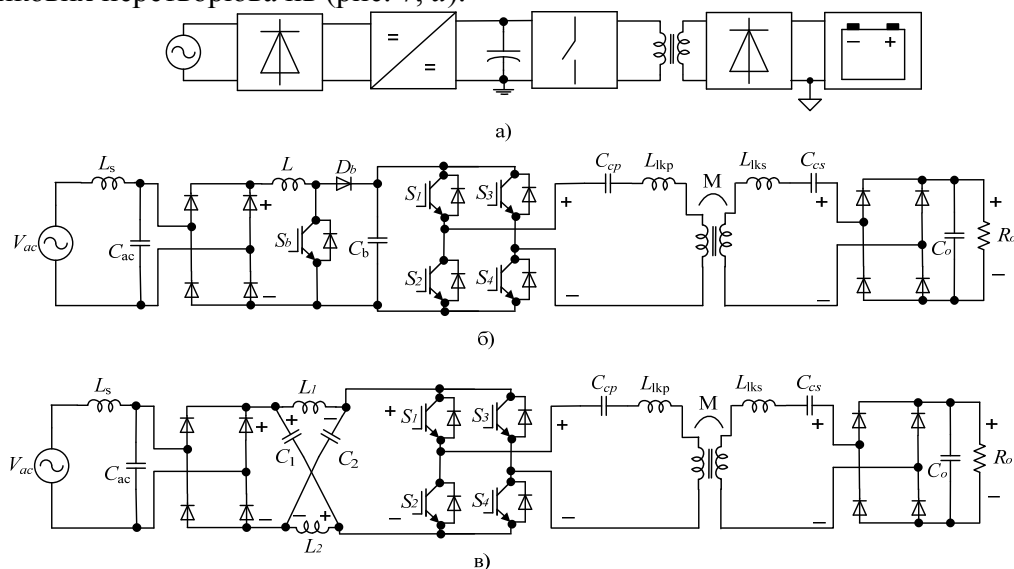


Рис. 7. Схеми бездротового зарядного пристрою:

а – структурна схема звичайного БЗП; б – типовий підвищуючий перетворювач в БЗП; в – запропонований БЗП на основі імпедансної ланки

Незважаючи на те, що імпедансна ланка зменшує кількість силових напівпровідників у системі, спостерігається збільшення кількості пасивних компонентів порівняно з підвищуючим перетворювачем. Головний недолік цього факту полягає в тому, що пер-



винна частина системи може мати більший розмір і вагу. Детальний аналіз та порівняння імпедансних та квазі-імпедансних ланок показано в багатьох статтях [20–23].

Крім того, згідно з [23], конденсатори та напівпровідникові прилади мають більші показники відмов та старіння (відповідно 30 та 21 %) серед усіх компонентів в електронній системі. Традиційний підвищуючий перетворювач має два напівпровідникові пристрої та конденсатор, у той час як перетворювач на основі імпедансної ланки не має додаткових напівпровідникових приладів. Нарешті, додавання імпедансної ланки підвищує надійність системи, оскільки в такій схемі відсутні заборонені стани комутації транзисторів.

При використанні перетворювача з імпедансною ланкою додається одна додаткова контрольна змінна, яка визначає тривалість режиму повної провідності, коли відкриті всі транзистори та використовується для керування вихідної напруги. У порівнянні зі звичайним перетворювачем таке рішення має кращу ефективність для коефіцієнтів підсилення від 1 до 1,34, не вимагає додаткових напівпровідникових пристроїв. Запропонована однорівнева система перетворювача досягла коефіцієнта потужності 0,987 при повному завантаженні та регулюванні вихідної напруги системи до 200 В. Результати експериментів базувалися на прототипі потужністю 1 кВт з 20-сантиметровим повітряним зазором між перетворювачем первинної та вторинної частини.

У розробленій авторами [24] системі представлено економічно ефективна конструкція антен для передачі бездротової енергії в електричних скутерах. Запропоноване рішення може бути застосоване до будь-якого комерційного електричного скутера, самоката, іншого дво- та трьохколісного електротранспорту із живленням 48 В/20 Аг. Використання антени направленої форми дозволило підвищити ефективність передачі енергії. Передаючі котушки встановлюються під шасі скутера. Приймаюча котушка вкладається в нижній шар шасі, де знаходиться повітряний зазор між цими двома котушками – близько 10 см. З метою уніфікації та стандартизації робоча частота становить 85 кГц. Із відповідним джерелом живлення акумулятор можна швидко та зручно заряджати бездротовим способом. Експериментальні результати підтверджують бажану продуктивність та доцільність.

Прототип системи має такі параметри: потужність: 0,8 кВт, ємність батареї 1кВт/год, середня швидкість 40 км/год, напруга 40В, максимальне навантаження 100 кг.

На рис. 8 показана спрощена схема WPT на електричних транспортних засобах (скутерах).

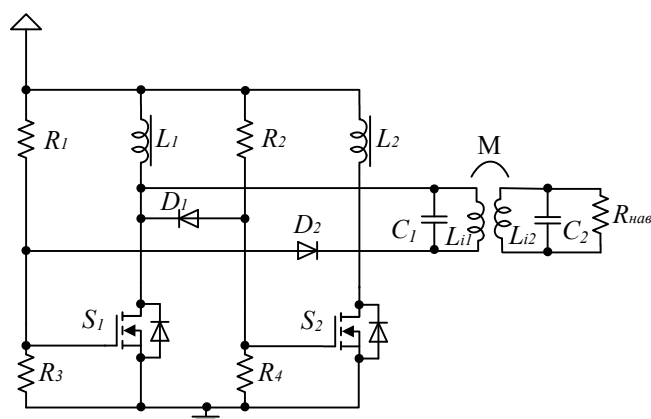


Рис. 8. Спрощена схема системи БПЕ на скутері

Як уже було згадано раніше під час аналізу базових топологій, паралельно-паралельна топологія має дещо більші переваги при значному навантаженні, тому в електроскутері застосовується саме така система бездротової передачі енергії.

Крім суто схемотехнічних рішень, є й інші у сфері силової електроніки, які покращують ефективність бездротової передачі електроенергії. У статті [25] представлено новий високоефективний планарний підхід до об'єднання всіх магнітних компонентів первин-

но-паралельного ізолюваного підсилюючого перетворювача в структуру форми E-I-E-core (планарний інтегрований магнетик -planar integrated magnetic - PIM). Оскільки така структура дозволяє трансформаторам і індуктивностям бути електромагнітно розв'язаними, то цей спосіб може бути використаний у багатьох інших ізолюваних dc-dc топологіях, де декілька трансформаторів та індуктивностей з'єднуються провідниками.

Всі магнітні компоненти в перетворювачі, в тому числі дві входні індуктивності та два трансформатори з первинною паралельною і вторинною послідовною обмоткою, інтегровані в E-I-E-core геометрію, зменшуючи загальний об'єм фериту та втрату в осерді. Перевірка роботи експериментального прототипу 2 кВт підтверджує високу ефективність 95,9 %, яка може бути досягнута при номінальних робочих умовах 1,5 кВт.

**Висновки і пропозиції.** У цій роботі виконаний огляд основних технологій бездротової зарядки накопичувачів енергії для малопотужних систем. Було виявлено, що індуктивний спосіб передачі енергії є найбільш ефективним на цей момент. Водночас слід відзначити, що при збільшенні відстані передачі ефективність значно падає. Покращення геометрії магнітних компонентів є основним напрямком дослідження в цьому напрямку. Основні топологічні рішення схем силової електроніки зводяться до реалізації чотирьох основних способів компенсації для отримання синусоїдальної напруги. Подальші дослідження можуть бути направлені на зменшення кількості напівпровідників та альтернативним способом реалізації компенсації.

#### Список використаних джерел

1. R. Bosshard, J.W. Kolar, "Inductive power transfer for electric vehicle charging: Technical challenges and tradeoffs," *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 3, no. 3, pp. 22-30, Nov. 2016.
2. J.-Y. Lee and B.-M. Han, "A Bidirectional Wireless Power Transfer EV Charger Using Self-Resonant PWM", *IEEE Trans. on Ind. Electr.*, VOL. 30, NO. 4, APRIL 2015.
3. Chan T. Rim. Practical Design of Wireless Electric Vehicles: Dynamic & Stationary Charging Technologies. March 2017 .
4. H. Zeng, S. Yang, F. Z. Peng, "Design Consideration and Comparison of Wireless Power Transfer via Harmonic Current for PHEV and EV Wireless Charging", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Year: 2017, Volume: 32, Issue: 8.
5. A. J. Moradewicz, Marian Kazmierkowski "Contactless Energy Transfer System With FPGA-Controlled Resonant Converter" *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol 57, no 9, pp. 3181-3190, 2010.
6. Chenyang Xia, Yuejin Zhou, Juan Zhang and Chaowei Li "Comparison of Power Transfer Characteristics between CPT and IPT System and Mutual Inductance Optimization for IPT System". *Journal Of ComputerS*, Vol. 7, No. 11, November 2012, pp.2734-2741.
7. Приступа А. Л. Експериментальна установка для дослідження теслівських процесів при безконтактній зарядці акумуляторів / А. Л. Приступа, І. В. Пентегов // Вісник Чернігівського державного технологічного університету: Серія «Технічні науки». – 2012. – № 1 (55). – С. 233–239.
8. Волков И. В. Тесловские процессы в высоковольтных высокочастотных электрических цепях / И. В. Волков, И. В. Пентегов // Технічна електродинаміка: Тем. випуск «Проблеми сучасної електротехніки». – К. : ІЕД НАНУ, 2000. – Ч. 1. – С. 7–11.
9. Пентегов И. В. О возможности осуществления бесконтактной подзарядки аккумуляторов имплантированных электростимуляторов / И. В. Пентегов, И. В. Волков, А. Л. Приступа // Технічна електродинаміка: Тем. вип. «Проблеми сучасної електротехніки». – К. : ІЕД НАНУ, 2008. – Ч. 5. – С. 109–113.
10. Mohammad Hassan Ameri, Ali Yazdian Varjani, and Mustafa Mohamadian "A New Maximum Inductive Power Transmission Capacity Tracking Method" *Journal of Power Electronics*, November 2016, Volume 16 Number 6. pp.2202-2211.
11. Как устроена и работает беспроводная зарядка для телефона [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://elektrik.info/device/1196-kak-ustroena-i-rabotaet-besprovodnaya-zaryadka-dlya-telefona.html>.
12. Технология беспроводной зарядки: принцип действия, стандарты, производители. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/doc/70732>.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

13. Benjamin L. Cannon, James F. Hoburg, Daniel D. Stancil "Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers". *IEEE Transactions on Power Electronics* (Volume: 24, Issue: 7, July 2009 ), pp. 1819–1825.
14. Qi.Wireless power consortium [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.wirelesspowerconsortium.com>.
15. Suvendu Samanta, Akshay Kumar Rathore "Wireless power transfer technology using full-bridge current-fed topology for medium power applications". *IET Power Electronics* (Volume: 9, Issue: 7 27 2016 ), pp. 1903–1913 .
16. Ni B, Chung CY and Chan HL. "Design and comparison of parallel and series resonant topology in wireless power transfer". In: Proceedings of 2013 IEEE 8th conference on industrial electronics and applications, Melbourne, VIC, Australia, 19–21 June 2013, pp.1832–1837.
17. Petersen, Marinus; Fuchs, Friedrich W., "Design of a Highly Efficient Inductive Power Transfer (IPT) System for Low Voltage Applications", PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management; Proceedings of, 19-21 May 2015.
18. Petersen, Marinus; Fuchs, Friedrich W., "Investigation of Power Electronics Topologies for Inductive Power Transfer (IPT) Systems in High Power Low Voltage Applications". Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe), 2015 17th European Conference; Proceedings of, 8–10 Sept 2015.
19. Nomar S. González-Santini, Hulong Zeng, Yaodong Yu, Fang Zheng Peng "Z-Source Resonant Converter With Power Factor Correction for Wireless Power Transfer Applications". *IEEE Transactions on Power Electronics* (Volume: 31, Issue: 11, Nov. 2016 ), pp. 7691 – 7700.
20. Гусев О. О. Порівняння імпедансних ланок для перетворювачів з джерелом напруги / О. О. Гусев, А. І. Чуб, Д. В. Вінніков // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 3 – С. 25–32.
21. Husev, O., Blaabjerg, F., Clemente, C.R., Cadaval, E.R., Vinnikov, D., Siwakoti, Y., Strzelecki, R.: 'Comparison of the Impedance-Source Networks for Two and Multilevel Buck-Boost Inverter Applications', *IEEE Trans. Power Electron.*, 2016, 31 (11), pp. 7564–7579.
22. Dmitry Panfilov, Oleksandr Husev, Frede Blaabjerg, Janis Zakis, Kamal Khandakji, "Comparison of three-phase three-level voltage source inverter with intermediate dc–dc boost converter and quasi-Z-source inverter", *IET Power Electronics*, 6, pp. 1238–1248, 2016.
23. S. Yang, D. Xiang, A. Bryant, P. Mawby, L. Ran, and P. Tavner, "Condition monitoring for device reliability in power electronic converters: A review", *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 11, pp. 2734–2752, Nov. 2010.
24. Jia-Shiun Tsai, Jia-Sheng Hu, Sin-Li Chen and Xiaoliang Huang. "Directional antenna design for wireless power transfer system in electric scooters". *Advances in Mechanical Engineering* 2016, Vol. 8 (2), 1–13.
25. Ouyang Z., Sen G., Thomsen O., and Andersen M. "Analysis and Design of Fully Integrated Planar Magnetics for Primary-Parallel Isolated Boost Converter". *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (Volume: 60, Issue: 2, Feb. 2013), pp. 494–508.

## References

1. Bosshard, R., Kolar, J.W. (2016). Inductive power transfer for electric vehicle charging: Technical challenges and tradeoffs. *IEEE Power Electronics Magazine*, vol. 3, no. 3, pp. 22–30, Nov. 2016.
2. Lee J.-Y. and Han B.-M. (2015). A Bidirectional Wireless Power Transfer EV Charger Using Self-Resonant PWM. *IEEE Trans. on Ind. Electr.*, vol. 30, no. 4, APRIL 2015.
3. Chan T. Rim. *Practical Design of Wireless Electric Vehicles: Dynamic & Stationary Charging Technologies*. March 2017.
4. H. Zeng, S. Yang, F. Z. Peng (2017). Design Consideration and Comparison of Wireless Power Transfer via Harmonic Current for PHEV and EV Wireless Charging", *IEEE Transactions on Power Electronics*, volume: 32, Issue: 8.
5. Moradewicz, A.J., Marian Kazmierkowski (2010). Contactless Energy Transfer System With FPGA-Controlled Resonant Converter. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 57, no. 9, pp. 3181–3190.
6. Chenyang Xia, Yuejin Zhou, Juan Zhang and Chaowei Li (2012). Comparison of Power Transfer Characteristics between CPT and IPT System and Mutual Inductance Optimization for IPT System. *Journal Of ComputerS*, vol. 7, no. 11, November 2012, pp. 2734–2741.

7. Prystupa, A. L., Pentehov, I. V. (2012). Eksperymentalna ustanovka dlia doslidzhennia teslivskykh protsesiv pry bezkontaktnii zariadtsi akumuliatoriv [Experimental installation for studying the process of storks in contactless charging of accumulators]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu*: Serii: Tekhnichni nauky – *Visnyk of Chernihiv State Technological University*, № 1 (55), pp. 233–239 (in Ukrainian).
8. Volkov, I. V., Pentegov, I. V. (2000). Teslovskie processy v vysokovolnykh vysokochastotnykh jelektricheskikh tsepakh [Teslov processes in high-voltage high-frequency electric circuits]. *Tekhnichna elektrodinamika: Tem. vypusk “Problemy suchasnoi elektrotehniki” – Technical electrodynamics. Special issue “The problem of modern electrotechnology”*. Part 1. Kyiv: IED NANU, pp. 7–11 (in Russian).
9. Pentegov, I.V., Volkov, I.V., Pristupa, A.L. (2008). O vozmozhnosti osushchestvleniia beskontaktnoi podzariadki akkumuliatorov implantirovannykh elektrostimulatorov [On the possibility of carrying out non-contact charging of batteries of implanted electrostimulators]. *Tekhnichna elektrodinamika: Tem. vypusk “Problemy suchasnoi elektrotehniki” – Technical electrodynamics. Special issue “The problem of modern electrotechnology”*. Part 5. Kyiv: IED NANU, pp. 109–113 (in Russian).
10. Mohammad Hassan Ameri, Ali Yazdian Varjani, and Mustafa Mohamadian “A New Maximum Inductive Power Transmission Capacity Tracking Method”. *Journal of Power Electronics*, November 2016, Volume 16, Number 6. pp. 2202–2211.
11. *Kak ustroena i rabotaet besprovodnaia zariadka dlia telefona [How the wireless charging for the phone works and works]*. Retrieved from <http://elektrik.info/device/1196-kak-ustroena-i-rabotaet-besprovodnaya-zaryadka-dlya-telefona.html>.
12. *Tehnologiya besprovodnoi zariadki: printsip deistviia, standarty, proizvoditeli [Wireless charging technology: the principle of operation, standards, manufacturers]*. Retrieved from <http://www.russianelectronics.ru/leader-r/review/doc/70732>.
13. Benjamin L. Cannon, James F. Hoburg, Daniel D. Stancil “Magnetic Resonant Coupling As a Potential Means for Wireless Power Transfer to Multiple Small Receivers”. *IEEE Transactions on Power Electronics* (Volume: 24, Issue: 7, July 2009), pp. 1819–1825.
14. *Qi. Wireless power consortium*. Retrieved from <https://www.wirelesspowerconsortium.com>.
15. Suvendu Samanta, Akshay Kumar Rathore “Wireless power transfer technology using full-bridge current-fed topology for medium power applications”. *IET Power Electronics* (Volume: 9, Issue: 9, 7 27 2016), pp. 1903–1913.
16. Ni B, Chung CY and Chan HL. “Design and comparison of parallel and series resonant topology in wireless power transfer”. In: *Proceedings of 2013 IEEE 8th conference on industrial electronics and applications*, Melbourne, VIC, Australia, 19–21 June 2013, pp. 1832–1837.
17. Petersen, Marinus; Fuchs, Friedrich W., “Design of a Highly Efficient Inductive Power Transfer (IPT) System for Low Voltage Applications”. PCIM Europe 2015; *International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion, Renewable Energy and Energy Management*; Proceedings of, 19–21 May 2015.
18. Petersen, Marinus; Fuchs, Friedrich W., “Investigation of Power Electronics Topologies for Inductive Power Transfer (IPT) Systems in High Power Low Voltage Applications”. *Power Electronics and Applications (EPE'15 ECCE-Europe)*, 2015 17th European Conference; Proceedings of, 8–10 Sept 2015.
19. Nomar S. González-Santini, Hulong Zeng, Yaodong Yu, Fang Zheng Peng “Z-Source Resonant Converter With Power Factor Correction for Wireless Power Transfer Applications”. *IEEE Transactions on Power Electronics* (Volume: 31, Issue: 11, Nov. 2016), pp. 7691–7700.
20. Husev, O. O., Chub, A. I., Vinnikov, D. V. (2015). Porivniannia impedansnykh lanok dlia peretvoriuvachiv z dzherelom napruhy [Comparison of Impedance Links for Voltage Converters]. *Tekhnichna elektrodinamika – Technical electrodynamics*, № 3, pp. 25–32 (in Ukrainian).
21. Husev, O., Blaabjerg, F., Clemente, C.R., Cadaval, E.R., Vinnikov, D., Siwakoti, Y., Strzelecki, R. (2016). Comparison of the Impedance-Source Networks for Two and Multilevel Buck-Boost Inverter Applications, *IEEE Trans. Power Electron.*, 31 (11), pp. 7564–7579.
22. Dmitry Panfilov, Oleksandr Husev, Frede Blaabjerg, Janis Zakis, Kamal Khandakji (2016). Comparison of three-phase three-level voltage source inverter with intermediate dc–dc boost converter and quasi-Z-source inverter, *IET Power Electronics*, no. 6, pp. 1238–1248.

23. S. Yang, D. Xiang, A. Bryant, P. Mawby, L. Ran, and P. Tavner (2010). Condition monitoring for device reliability in power electronic converters: A review, *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 25, no. 11, pp. 2734–2752, Nov. 2010.

24. Jia-Shiun Tsai, Jia-Sheng Hu, Sin-Li Chen and Xiaoliang Huang (2016). Directional antenna design for wireless power transfer system in electric scooters. *Advances in Mechanical Engineering*, Vol. 8 (2), 1–13.

25. Ouyang Z., Sen G., Thomsen O., and Andersen M. (2013). Analysis and Design of Fully Integrated Planar Magnetics for Primary-Parallel Isolated Boost Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, issue: 2, Feb. 2013, pp. 494–508.

UDC 621.3.08

Viktor Shevchenko, Bohdan Pakhaliuk, Oleksandr Husev

## REVIEW THE MAIN TECHNOLOGIES OF THE WIRELESS CHARGING OF ENERGY ACCUMULATORS FOR SMALL-PURCHASING SYSTEMS

**Urgency of the research.** The development of new topologies, methods for calculation and optimization of semiconductor transducers for WPT systems will allow to increase the electric energy transmitted wirelessly, extend the range of frequency regulation, which will reduce the time spent on recharge of electric vehicles and increase the convenience of using WPT systems by reducing the sensitivity to precise positioning of receiving and transmitting elements, which will become a prerequisite for more active introduction of electric vehicles and electric vehicles. In conditions of different ecological, demographic, economic situation in the world, the individual electric transport is becoming more and more popular.

Solving the set tasks will create preconditions for the implementation of WPT in many spheres of society, both in Ukraine and in the world as a whole (private transport, military equipment and equipment, household electronics, etc.).

**Target setting.** Now methods of wireless power transfer (WPT), based on the phenomena of electrostatic and electromagnetic induction, are widely used in various applications. WPT method is widely used today in low-power systems - wireless charging of mobile phones, razors, toothbrushes, low-power vehicles.

The main constraints of such systems are low efficiency at high transmission distances and relatively large mass-size parameters of the elements, which in turn leads to high cost of WPT system. Recently, there are more and more consumers who need to transmit contactless method of electric energy from units of kilowatts or higher.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis of the state of research shows that the subjects of research on the improvement of wireless charging systems are constantly expanding and are extremely relevant, in particular, abroad. Especially considering the development of electric vehicles, there is growing interest in wireless charging of vehicles. There is also a solution to the inductive power transmission system for low and high voltage power supplies.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** If static and dynamic charging of electric cars is devoted to many articles and developments, then the individual means of travel are paid less attention, so the design of low-voltage wireless charging for electric bikes, electric scooters, and velomobiles is a promising area of research. Modern research is aimed at achieving lower cost and improving the efficiency of wireless charging systems for such vehicles.

**The research objective.** The main tasks are to review and compare existing topologies, calculation methods, and optimization of WPT systems.

**The statement of basic materials.** In the first part of the article general information about principles of operation and application of capacitive and inductive method of wireless transmission of energy are considered, advantages and disadvantages, efficiency are presented. The emphasis is on magnetic resonance communication, the main compensating topologies are considered. Graphs of the dependence of the transfer function of the WPT on the frequency for the serial-serial resonance scheme are constructed. The probable dependence of the distance between the transmitter and receiver is separately presented.

In the second part of the article an analysis of the existing power semiconductor topology WPT based on inductive coupling and various compensating topologies. Initially, inductive energy transmission systems for low voltage power supplies are analyzed. The topologies of primary and secondary dc-dc converters are selected and compared from the point of view of the required nominal power and efficiency. The WPT system based on the current inverter and the compensating resonance PS-topology for electric vehicles and devices for charging the battery are analyzed. An interesting article is considered, which analyzes and compares the proposed onboard electric vehicle charger based on an impedance link with a conventional OBC. The following is a variant of the topology and cost-effective design of antennas for the transmission of wireless energy in electric scooters. In addition to purely circuit design, other solutions in the field of power electronics are considered, which will improve the efficiency of wireless power transmission. A new high-performance planar approach is presented for the integration of all magnetic components of the primary-parallel isolated enhancer converter into the structure of the form E-I-E-core planar integrated magnetic (PIM).

**Conclusions.** The article gives an overview of the main technologies of wireless charging of energy storage devices for low-power systems. It has been found that the inductive mode of energy transmission is most effective now. At the same time, it should be noted that with increasing transmission distance, efficiency falls significantly. The improvement of the geometry of magnetic components is the main focus of research in this direction. The main topological solutions of power electronics circuits are reduced to the implementation of four main methods of compensation for obtaining sinusoidal voltage. That is, for different tasks, different topologies are selected with those or other modifications, depending, first of all, on the power that needs to be transmitted and the load. Further research may be aimed at reducing the number of semiconductors and alternative ways to realize compensation.

**Key words:** wireless transmission of energy; magnetic resonance bond; compensating topology; onboard charger; high frequency inverter.

Fig.: 8. Bibl.: 25.

УДК 621.3.08

Виктор Шевченко, Богдан Пахалюк, Александр Гусев

## ОБЗОР ОСНОВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ БЕСПРОВОДНОЙ ЗАРЯДКИ НАКОПИТЕЛЕЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ МАЛОМОЩНЫХ СИСТЕМ

Беспроводная передача энергии является неотъемлемой частью современного мира. Статья посвящена обзору существующих современных решений беспроводных зарядных устройств для маломощных систем. В частности кратко рассмотрены основные виды беспроводной передачи энергии, преимущества и недостатки каждого из методов. Более подробно рассмотрено индуктивный способ передачи как одного из наиболее распространенного и перспективного. Проанализированы основные топологические решения схем силовой электроники. Обсуждены основные проблемы и дальнейшие направления исследований в этой сфере.

**Ключевые слова:** беспроводная передача энергии; магнитно-резонансная связь; высокочастотный инвертор.

Рис.: 8. Библ.: 25.

**Шевченко Віктор Олександрович** – аспірант ЧНТУ, асистент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Шевченко Виктор Александрович** – аспирант ЧНТУ, ассистент кафедры биомедицинских радиоэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Shevchenko Viktor** – Phd student, assistant of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** shevaip1990@gmail.com

**Пахалюк Богдан Петрович** – студент ЧНТУ, магістр кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Пахалюк Богдан Петрович** – студент ЧНТУ, магистр кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Pakhaliuk Bohdan** – student, master of Industrial Electronics Department, Chernihiv national university of technology (95 Shevchenko Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** bohdan.pakhaliuk@gmail.com

**Гусев Александр Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Гусев Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры биомедицинских радиоэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Oleksandr Husev** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oleksandr.husev@gmail.com

**ORCID:** orcid.org/0000-0001-7810-457X

**ResearcherID:** F-5792-2014

**Scopus Author ID:** 45861130600

Oleksiy Krasnozhon, Roman Shevchenko,  
Oleg Khomenko, Oleksandr Veligorskyi

## REVIEW OF HIGH STEP-UP DC-AC POWER ELECTRONICS SOLUTIONS WITHOUT GALVANIC ISOLATION

**Urgency of the research.** Energy storage technologies are heavily related to electric vehicles. The fast charging station together with the wireless power station potentially makes the electric vehicle more attractive and user-friendly.

**Target setting.** The main problem in this area is the large size and low battery life, as well as the limited loading speed of electric vehicles. It is also important to optimize power density with the greatest possible efficiency.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis of publications shows that a lot of attention has been paid to this topic of research, there are a large number of publications by leading institutes and world-renowned scholars. Therefore, in the current article, a comparison of two main families of non-isolated converters with reference to articles and domestic scientists is also shown. The first family, based on one-step solutions, is presented and classified. Also shown is an analysis of two-stroke converters based on the intermediate DC converter with a high increase.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Many problems with the power industry should be solved to increase the implementation of technology and accelerate the transition from traditional charging to electric mobile charging stations. In the case of a simplified solution without the use of galvanic isolation and the use of low voltage batteries, the gain of the DC converter of the converter plays a very important role.

**The research objective.** The main task of this work is to review high-frequency DC converters without galvanic isolation to charge the battery from the network.

**The statement of basic materials.** In the analysis of solutions based on single-stage dc converters and the review of topologies, it was found that among the several groups of impedance networks most suitable for use are high-gain networks based on magnetic connected inductive components or a transformer. With proper implementation, this will result in an increase in the voltage gain through the rotational factor. The same circuitry based on an inverter with a Z-Source Inverter (ZSI) and a SEPIC converter, even with more modified solutions, is limited in practical implementation and operation. These circuits contain many passive components and have additional losses in semiconductors.

In the review of two-level DC converters with a high degree of amplification without galvanic isolation on the basis of high-frequency DC converters, a review and comparison of several solutions was performed. The most interesting circuit is a switched capacitor bidirectional converter consisting only of semiconductor switches and capacitors. An efficiency ratio ranges from 95 to 98.5 % over the entire download range. The intermediate concept of this solution has become quite popular in recent years, thanks to such benefits as high efficiency over a wide range of loads, reduced conduction losses, high power density.

**Conclusions.** High step up dc-ac converters are one of the key elements for battery charging from the grid. They provide a flexible power processing interface between energy storage device and the rest of system. Two main families of non-isolated converters are considered. The first family based on single-stage converters can be interesting because of reduced amount of elements. At the same time the complex control is a disadvantage.

**Key words:** high step up; converter; battery charge.

Fig.: 5. Bibl.: 10.

**Problem definition.** The topic of energy storage technologies strongly linked with electrical vehicles. The main problem in this field lies in the large size and low lifetime of the batteries along with limited charging speed of the electrical vehicles. The second problem relates only to power electronics issues. This topic is under investigation. The fast charging station along with wireless power station potentially makes an electrical vehicle more attractive and user friendly [1].

At the same time, many power electronics problems should be solved to increase acceptance of the technology and accelerate the transition from traditional to electrical mobility. In case of simplified solution without galvanic isolation and low voltage batteries utilization, the boost factor of dc-ac converter plays a very important role. Another issue lies in power density and efficiency optimization.

**The main goal** of this paper consists in overview of high gain dc-ac converters without galvanic isolation for storage battery charging from the grid. There are two types of converters that can be underlined. Fig. 1a shows the single-stage dc-ac converter, while the fig. 1b shows the general structure of two-stage the dc-ac converters.

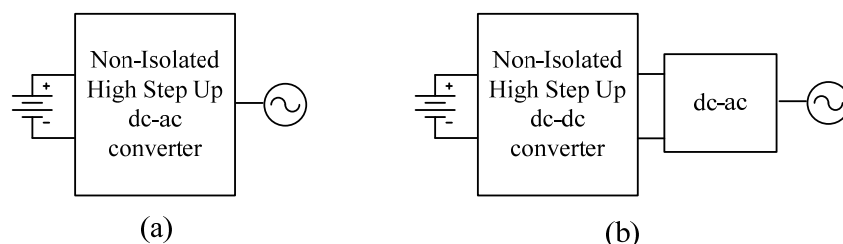


Fig. 1. a) single-stage dc-ac converter b) two stage dc-ac converters

**Single-stage dc-ac converters** The first solution of single-stage solution is Active Boost Cell (ABC) At the beginning, the buck-boost two-level inverters derived from the SEPIC dc-dc converter have been successfully developed for bidirectional power conversion with special voltage boost circuitry added between the dc source and the inverter circuitry [2]. Since the auxiliary transistors are used in the boost circuit, in order to distinguish this approach from the passive impedance network application it will be called ABC.

Fig. 2a shows conventional Cuk-derived topology for single input voltage source. In this topology, a voltage boost circuit is made up of inductor  $L_I$ , two switch  $S_I$  capacitor  $C_I$ . This boost cell is inserted between the dc source with reversed polarity and inverter. Besides inductive boosting, the turning ON of the switches causes also  $C_I$  to act as a split dc-link capacitive bank for powering the inverter.

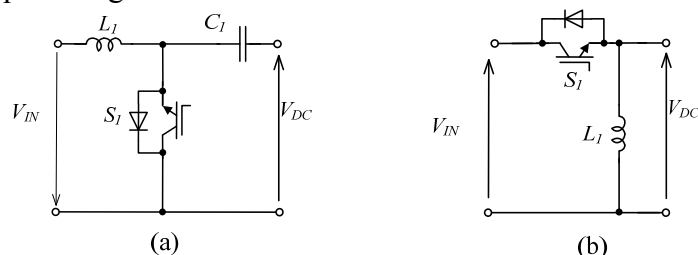


Fig. 2. a) single-stage Cuk converter b) single-stage SEPIC converter

Fig. 2b shows buck-boost SEPIC-derived topologies for single input voltage. In [2] a bidirectional buck-boost rectifier was proposed with a symmetrical passive network and a single dc switch inserted, which was derived from either the Cuk or SEPIC dc-dc converters. The boost-buck concept can be further modified with an unsymmetrical front-end structure for power inversion.

For properly controlling the buck-boost operation, the second state (when both transistors are OFF) should be inserted in the zero intervals because both generate zero line voltages, and therefore a specific modulation scheme is designed and discussed in the following chapters for this circuit.

Z-Source Inverter (ZSI) proposed by F.Z. Peng in 2002 [3]. This unique circuit has different areas of application: energy generation systems with renewables, systems without energy storage and with energy storages, grid connected systems and many other systems. These applications are possible due to the extended regulation range of the input voltage of that converter [4].

Modifications based on the above schemes are shown in Fig. 3[5]. The most common method is to use a switched inductor, as shown in Fig. 3a. This is derived by replacing the inductor  $L_2$  in the qZSN by one of the switched inductors, shown in Fig. 3a. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** The second type of modification called capacitor assisted extended boost (CAEB) is shown in Fig. 3b and modified capacitor assisted extended boost (MCAEB) is shown in Fig. 3c. CAEB is derived by adding one diode ( $D_2$ ), one inductor ( $L_3$ ) and two capacitors ( $C_3$  and  $C_4$ ) to the traditional qZSI. MCAEB is derived from the CAEB qZSI by changing the connection points of the capacitors  $C_2$  and  $C_3$



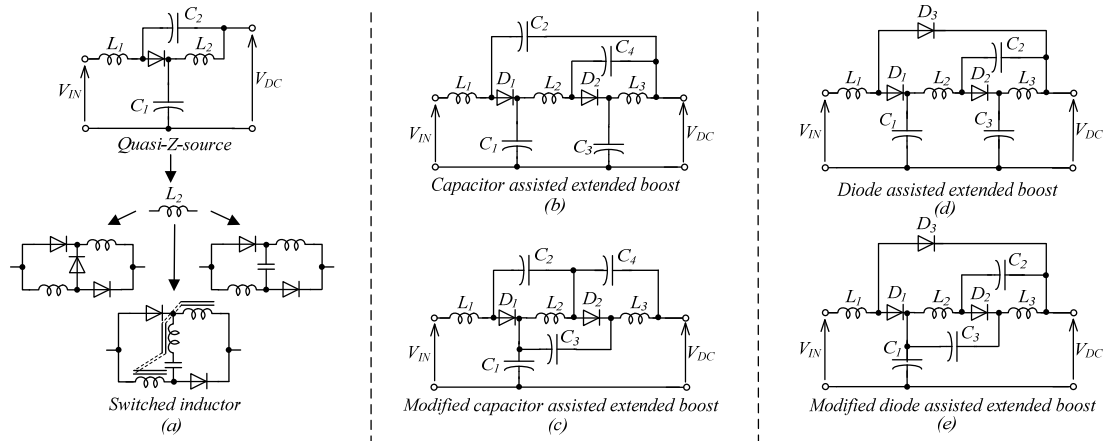


Fig. 3. Impedance network modifications: a) switched inductor; b) capacitor assisted extended boost; c) modified capacitor assisted extended boost; d) diode assisted extended boost; e) modified diode assisted extended boost

The third type of modification called diode assisted extended boost (DAEB) is shown in Fig. 3d, and a modified diode assisted extended boost (MDAEB) is shown in Fig. 3e. DAEB is derived by adding one capacitor ( $C_3$ ), one inductor ( $L_3$ ) and two diodes ( $D_2$  and  $D_3$ ) to the traditional qZSI. MDAEB is derived from the DAEB qZSI by changing the connection points of the capacitor  $C_3$ . These modifications can produce infinite boost. However, this cannot occur in practice due to losses. Out of the modifications, CAEB is preferable, since it requires fewer semiconductor devices. Therefore, the circuit may have lower power losses.

All of these modification types are limited in practical solutions. These schemes contain many passive components and have additional losses in the semiconductors.

Impedance networks can be subdivided into the several groups. The most suitable for high step up application are based on magnetically coupled inductive components or transformer (Fig. 4). Its implementation in the ISN can result in higher voltage boost factor due to the turns ratio. LCCT Z-source circuit is an inductor-capacitor-capacitor-transformer Z-source circuit. LCCT Z-source and quasi-Z-source circuits are shown in Figs. 4a and 4b, respectively. These schemes include a high frequency ideal transformer.

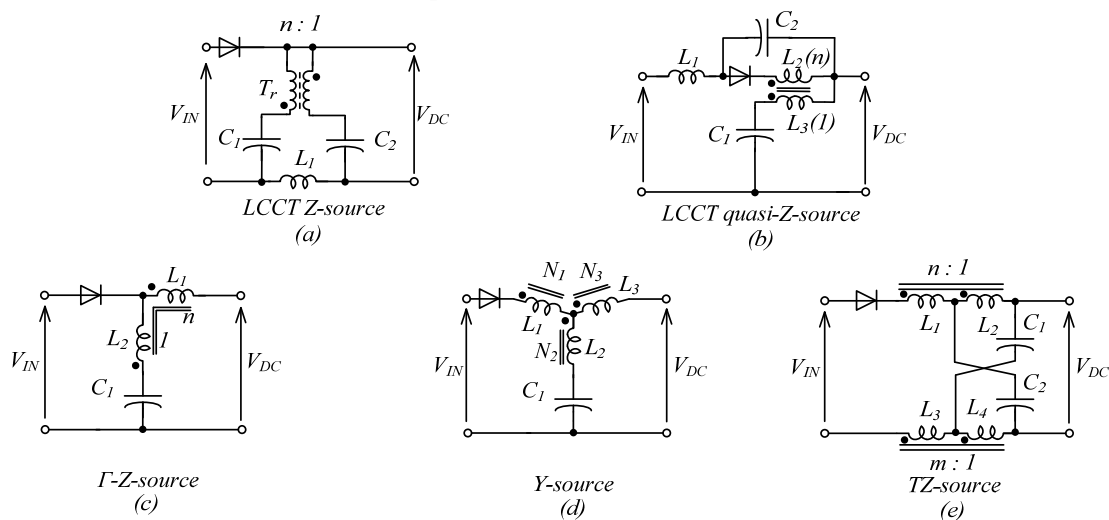
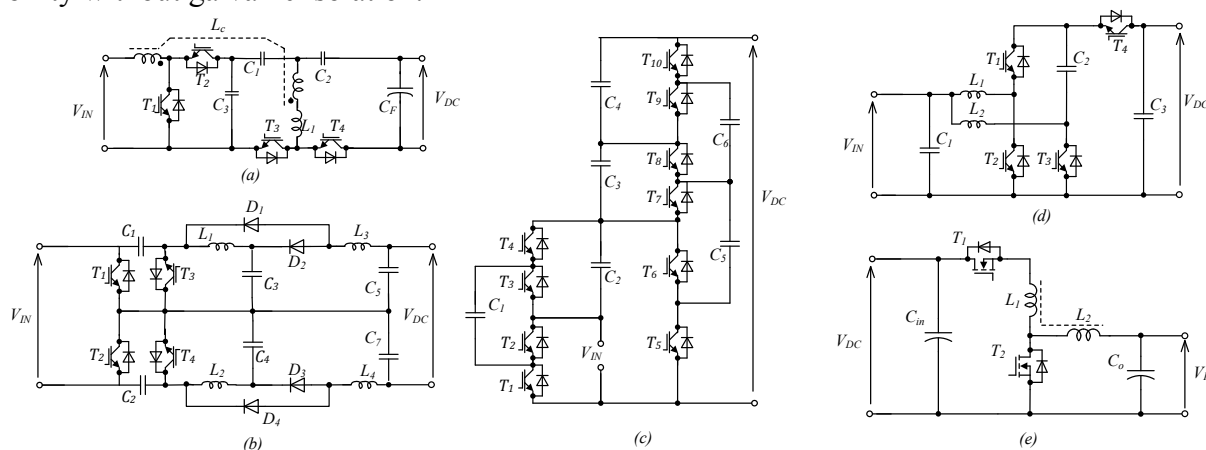


Fig. 4. Impedance networks suitable for high step up application: a) LCCT Z-source; b) LCCT quasi-Z-source; c)  $\Gamma$ -Z-source; d) Y-source; e) TZ-source

$\Gamma$ -Z-source network contains a transformer. The circuit is shown in Fig. 4c. T-Z-source network scheme contains magnetic components and is shown in Fig. 4d. Finally Y-source network belongs to the schemes with magnetically coupled components is shown in Fig. 4e.

**Two-stage dc-ac converters** based on the high step up dc-dc converters is the second possible solution [6]. Fig. 5 shows several possible dc-dc converters with high step up capability without galvanic isolation.



*Fig. 5. High step up dc-dc converters:*

*a) high step-up/step-down bidirectional dc-dc converter; b) Cuk-based converter;  
 c) The switched capacitor bidirectional converter; (d); interleaved charge-pump topology;  
 (e) tapped-inductor based converter*

In [7] is proposed high step-up/step-down bidirectional dc-dc converter (Fig. 5a) in which the coupled inductor  $L_c$  is used. This converter is a combination of the conventional buck-boost and a voltage doublers cell. In some region, it is possible to realize zero voltage switching. In [8] is presented the study and simulations of a new family of symmetrical hybrid multilevel inverters based on Cuk (Fig. 5b) and Zeta converters, that are able to high step up/down voltages. The switched capacitor bidirectional converter proposed in [9] and shown in Fig. 5c is composed of only semiconductor switches and capacitors. The prototype of the converter is presented in the paper, 75 kHz switching frequency is selected, the battery voltage is equal to 20 V, the output voltage is equal to 173 V and overall power is 100 W. The reported efficiency is from 95 to 98.5 % in all load range. Interleaved concept became quite popular in recent years due to such advantages as high efficiency in wide load range, reduced conduction losses, high power density. The interleaved charge-pump topology (Fig. 5d) is analyzed in [10]. It has two times higher conversion ratio over conventional half-bridge topology, but because of schematic limitations duty cycle on switches  $T1$  and  $T4$  cannot be smaller than 0.5. Finally, the tapped-inductor based solution is shown in Fig. 5e [6]. It is compatible solution due to the turn's ratio of inductors. It should be noted that as any similar solution it may suffer from voltage and current spikes across semiconductors.

**Conclusions.** High step up dc-ac converters are one of the key elements for battery charging from the grid. They provide a flexible power processing interface between energy storage device and the rest of system. Two main families of non-isolated converters are considered. The first family based on single-stage converters can be interesting because of reduced amount of elements. At the same time the complex control is a disadvantage.

## References

1. Z. Yu, H. Kapels, and K. F. Hoffmann, "High Efficiency Bidirectional DC-DC Converter with Wide Input and Output Voltage Ranges for Battery Systems," in *Renewable Energy and Energy Management; Proceedings of PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion*, 2015, pp. 1–8.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. J. Kikuchi and T. A. Lipo, "Three-phase PWM boost-buck rectifiers with power-regenerating capability," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 38, pp. 1361-1369, Sept./Oct. 2002.
3. Peng F.Z. "Z-source inverter", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Mar./Apr. 2003. V. 39, No. 2. pp. 504-510.
4. Husev, O.O., Chub, A.I., Vinnikov, D.V. (2015). Porivniannia impedansnykh lanok dlia peretvoriuvachiv z dzherelom napruhy [Comparison of impedance links for converters with a voltage source]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamics*, no. 3, pp. 25–32 (in Ukrainian).
5. Shults, T., Husev, O., Zakis, J., "Overview of impedance source networks for voltage source inverters" In: EDM 2015, pp. 514–519.
6. K. Tytelmaier, O. Husev, O. Veligorskyi, and R. Yershov, "A review of non-isolated bidirectional dc-dc converters for energy storage systems," 2016 II Int. Young Sci. Forum Appl. Phys. Eng., pp. 22–28, 2016.
7. H. Wu, K. Sun, L. Chen, L. Zhu, and Y. Xing, "High Step-Up/Step-Down Soft-Switching Bidirectional DC-DC Converter with Coupled-Inductor and Voltage Matching Control for Energy Storage Systems", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 5, pp. 2892–2903, Maijs 2016.
8. L. C. Miranda, R. R. Sanhueza, G. M. López, S. Fingerhuth, S. A. Mussa, and D. Ruiz-Caballero, "High-gain symmetrical hybrid multilevel DC-AC converters - Single phase circuits," in 2013 Brazilian Power Electronics Conference, 2013, pp. 161–168.
9. S. Xiong and S. C. Tan, "Cascaded High-Voltage-Gain Bidirectional Switched-Capacitor DC-DC Converters for Distributed Energy Resources Applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 2, pp. 1220–1231, Feb. 2017.
10. C.-M. Lai, Y.-C. Lin, D. Lee, "Study and Implementation of a Two-Phase Interleaved Bidirectional DC/DC Converter for Vehicle and DC-Microgrid System," *Energies*, vol. 8, pp. 9969-9991, Sep. 2015.

**References (in language original)**

1. Z. Yu, H. Kapels, and K. F. Hoffmann, "High Efficiency Bidirectional DC-DC Converter with Wide Input and Output Voltage Ranges for Battery Systems," in *Renewable Energy and Energy Management; Proceedings of PCIM Europe 2015; International Exhibition and Conference for Power Electronics, Intelligent Motion*, 2015, pp. 1–8.
2. J. Kikuchi and T. A. Lipo, "Three-phase PWM boost-buck rectifiers with power-regenerating capability," *Industry Applications, IEEE Transactions on*, vol. 38, pp. 1361-1369, Sept./Oct. 2002.
3. Peng F.Z. "Z-source inverter", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Mar./Apr. 2003. V. 39, No. 2. pp. 504-510.
4. Гусев О. О. Вінніков "Порівняння імпедансних ланок для перетворювачів з джерелом напруги / О. О. Гусев, А. І. Чуб, Д. В. Вінніков // Технічна електродинаміка. – 2015. – № 3. – С. 25–32.
5. Shults, T., Husev, O., Zakis, J., "Overview of impedance source networks for voltage source inverters" In: EDM 2015, pp 514-519.
6. K. Tytelmaier, O. Husev, O. Veligorskyi, and R. Yershov, "A review of non-isolated bidirectional dc-dc converters for energy storage systems," 2016 II Int. Young Sci. Forum Appl. Phys. Eng., pp. 22–28, 2016.
7. H. Wu, K. Sun, L. Chen, L. Zhu, and Y. Xing, "High Step-Up/Step-Down Soft-Switching Bidirectional DC-DC Converter with Coupled-Inductor and Voltage Matching Control for Energy Storage Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 63, no. 5, pp. 2892–2903, Maijs 2016.
8. L. C. Miranda, R. R. Sanhueza, G. M. López, S. Fingerhuth, S. A. Mussa, and D. Ruiz-Caballero, "High-gain symmetrical hybrid multilevel DC-AC converters – Single phase circuits", in 2013 Brazilian Power Electronics Conference, 2013, pp. 161–168.
9. S. Xiong and S. C. Tan, "Cascaded High-Voltage-Gain Bidirectional Switched-Capacitor DC-DC Converters for Distributed Energy Resources Applications," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 32, no. 2, pp. 1220–1231, Feb. 2017.
10. C.-M. Lai, Y.-C. Lin, D. Lee, "Study and Implementation of a Two-Phase Interleaved Bidirectional DC/DC Converter for Vehicle and DC-Microgrid System," *Energies*, vol. 8, pp. 9969-9991, Sep. 2015.

УДК 621.3.08

Олексій Красножон, Роман Шевченко,  
Олег Хоменко, Олександр Велигорський

## ОГЛЯД DC-AC РІШЕНЬ СИЛОВОЇ ЕЛЕКТРОНІКИ БЕЗ ГАЛЬВАНІЧНОЇ ІЗОЛЯЦІЇ З ВИСОКИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ПІДСИЛЕННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Технології зберігання енергії сильно пов'язані з електричними транспортними засобами. Станція швидкої зарядки разом із бездротовою станцією передачі енергії потенційно робить електричний транспортний засіб більш привабливим та зручним для користувача.

**Постановка проблеми.** Основна проблема в цій галузі полягає у великих розмірах та низькому терміні служби батарей, а також обмеженій швидкості завантаження електричних транспортних засобів. Також важлива оптимізація щільності енергії при якомусь більший ефективності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій показує, що даній тематиці досліджень приділено багато уваги, є значна кількість публікацій провідних інститутів і всесвітньовідомих вчених. Тож у поточній статті показано порівняння двох основних сімейств неізованих перетворювачів із посиланням на статті і вітчизняних вчених також. Представлено і класифіковано перше сімейство, засноване на однотактних рішеннях. Також показаний аналіз двохтактних перетворювачів на основі проміжного перетворювача постійного струму з високим підвищенням.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Багато проблем з електроенергетикою має бути вирішено для збільшення впровадження технології та прискорення переходу від традиційної зарядки до електричних мобільних зарядних станцій. У випадку спрощеного рішення без використання гальванічної ізоляції та використання низьковольтних батарей, коефіцієнт підсилення постійного струму перетворювача відіграє дуже важливу роль.

**Постановка завдання.** Основним завданням цієї роботи є огляд високочастотних перетворювачів постійного струму без гальванічної ізоляції для заряджання акумулятора від мережі.

**Викладення основного матеріалу.** При аналізі рішень на основі одноступеневих перетворювачів постійного струму і огляді топологій було виявлено, що з-поміж декількох груп імпедансних мереж найбільш придатні для застосування є мережі з високим ступенем підсилення на основі магнітних з'єднаних індуктивних компонентів або трансформатора. При правильній реалізації це призведе до підвищення коефіцієнта підсилення напруги через коефіцієнт повороту. Класичні ж схеми на основі інвертору із імпедансною ланкою та SEPIC перетворювача, навіть із більш модифікованими рішеннями, обмежені при практичній реалізації і експлуатації. Ці схеми містять багато пасивних компонентів і мають додаткові втрати в напівпровідниках.

При огляді дворівневих перетворювачів постійного струму з високим ступенем підсилення без гальванічної ізоляції на основі високочастотних перетворювачів постійного струму проведено огляд і порівняння декількох рішень. Найбільш цікавою схемою є двонаправлений перетворювач зі змінним конденсатором, що складається тільки з напівпровідникових перемикачів та конденсаторів. Показник ефективності становить від 95 до 98,5 % на всьому діапазоні завантаження. Проміжна концепція цього рішення стала досить популярною в останні роки завдяки таким перевагам, як висока ефективність в широкому діапазоні навантажень, зниження втрат провідності, висока щільність потужності.

**Висновки.** В статті проведено огляд перетворювачів для зарядки акумулятора від мережі, приведено порівняння двох основних сімейств неізованих перетворювачів. Високошвидкісні перетворювачі постійного струму – це один з ключових елементів заряджання акумулятора від мережі. Вони забезпечують гнучкий інтерфейс перетворення енергії між пристроєм зберігання енергії та іншою частиною системи. Розглянуто дві основні групи неізованих перетворювачів. Перша група на базі одноступеневих перетворювачів може бути цікавою через зменшення кількості елементів. У той же час недоліком таких систем є складний контроль.

**Ключові слова:** високий коефіцієнт підвищення; перетворювач; заряд батареї.

Рис.: 5. Бібл.: 10.

УДК 621.3.08

Алексей Красножон, Роман Шевченко,  
Олег Хоменко, Александр Велигорский

## ОБЗОР DC-AC РЕШЕНИЙ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ БЕЗ ГАЛЬВАНИЧЕСКОЙ ИЗОЛЯЦИИ С ВЫСОКИМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

В этой статье рассматриваются преобразователи для зарядки аккумулятора от сети. Показано сравнение двух основных семейств неизолированных преобразователей. Первое семейство, основанное на однотактных решениях, представлено и классифицировано. Также показаны преобразователи второго типа на основе промежуточного преобразователя постоянного тока с высоким повышением. Показаны основные преимущества и недостатки.

**Ключевые слова:** высокий коэффициент повышения; преобразователь; заряд батареи.

Рис.: 5. Библ.: 10.

**Krasnozhon Oleksiy** – PhD student, assistant of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Красножон Олексій Васильович** – аспірант ЧНТУ, асистент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Красножон Алексей Васильевич** – аспирант ЧНТУ, ассистент кафедры биомедицинских радиэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**E-mail:** wingcommander2011@gmail.com

**Shevchenko Roman** – engineer of government project 89/17, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 4027 Chernihiv, Ukraine).

**Шевченко Роман Владиславович** – інженер держбюджетної теми 89/17, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Шевченко Роман Владиславович** – инженер госбюджетной темы 89/17, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**E-mail:** shevchenko29@ukr.net

**Khomenko Oleg** – engineer of government project 89/17, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Хоменко Олег Борисович** – інженер держбюджетної теми 86/16, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Хоменко Олег Борисович** – инженер госбюджетной темы 86/16, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**E-mail:** olbor13@gmail.com

**Veligorskyi Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Biomedical Radioelectronic Apparatus and Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**Велігорський Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичних радіоелектронних апаратів та систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Велигорский Александр Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры биомедицинских радиэлектронных аппаратов и систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

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

## РОЗДІЛ V. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 504.5:628.33

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-154-162

Микола Гомеля, Вероніка Іванова, Інна Трус

### ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИЛУЧЕННЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ З РОЗВЕДЕНИХ РОЗЧИНІВ ІОНООБМІННИМ МЕТОДОМ

**Актуальність теми дослідження.** Важливою екологічною проблемою є забруднення поверхневих вод іонами важких металів. Висока токсичність при низьких дозах і здатність до накопичення в живих організмах пояснює зростаючу потребу в корекції змісту металів у стоках згідно з всесвітніми нормами. Викликає інтерес метод іонного обміну.

**Постановка проблеми.** Актуальними стають проблеми забруднення природних вод, зростання об'ємів стічних вод і пошук ефективних методів їх очищення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Досліджено процеси сорбції іонів міді із концентраціями 1–2 мг/дм<sup>3</sup> на катіоніті КУ-2-8. Селективність катіоніту по іонах міді при низьких її концентраціях близька до селективності по іонах жорсткості.

При використанні модифікованих іонообмінних матеріалів сполуками марганцю та заліза було досягнуто підвищення ефективності вилучення іонів важких металів із води.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Не можливо дати оцінку ефективності вилучення з води іонним обміном іонів важких металів при концентраціях, нижчих 1 мг/дм<sup>3</sup>.

**Постановка завдання.** Вивчення процесів сорбції іонів міді та свинцю на катіонітах, а також використання фільтрів змішаної дії.

**Виклад основного матеріалу.** Ефективність очищення води знижувалася при зменшенні вихідної концентрації металу.

Запропоновано використання фільтрів змішаної дії. Встановлено, що при концентрації іонів міді 10<sup>-2</sup> мг/дм<sup>3</sup> мідь не сорбувалася навіть при використанні фільтрів змішаної дії.

Встановлено, що іони свинцю практично повністю вилучаються на сильнокислотному катіоніті при концентраціях менше 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Регенерацію слід проводити 2М розчином соляної кислоти. Ефективність десорбції іонів свинцю досягає 100 %. Ступінь десорбції іонів міді в окремих випадках досягає приблизно 90 %.

**Висновки.** Задовільні результати по концентруванню сильно розведених розчинів іонів міді можна отримати при концентрації іонів міді до 1 мг/дм<sup>3</sup>.

При використанні фільтрів змішаної дії мідь можна вилучити з розчинів концентрацією до 0,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Встановлено, що іони свинцю ефективно вилучаються із надрозведених водних розчинів при концентраціях менше 1 мг/дм<sup>3</sup>.

**Ключові слова:** важкі метали; іонний обмін; сорбція; регенерація іоніту; фільтр змішаної дії.

Рис.: 5. Бібл.: 13.

**Вступ.** За сучасних глобальних масштабів втручання людини у біогеохімічні цикли важких металів відбувається розширення меж забруднення токсикантами, накопичення їх у природних водних об'єктах до небезпечних концентрацій і, як наслідок, збільшення ризику отруєння людини.

Водні ресурси України є обмеженими і дуже нерівномірно розподіленими за територією. Запаси водних ресурсів в Україні на одного мешканця становлять 1,7 тис. м<sup>3</sup> на рік, що ставить її поряд із найменш забезпеченими водою країнами Європи. До того ж різко погіршується якість води деяких джерел водопостачання в результаті їх забруднення стічними водами.

Необхідність здійснення екологічного контролю вмісту важких металів у воді питній, декларується документами Всесвітньої організації охорони здоров'я, вітчизняними нормативами, згідно з якими постало завдання контролювати такі небезпечні токсиканти, як Pb, Cd, Cu, Zn, Hg, As, Ni, Co та інші на межі 5·10<sup>-4</sup> мг/дм<sup>3</sup> [1].

Тому надійний контроль вмісту важких металів у воді є актуальною проблемою, так само як і визначення ефективності відомих методів очищення води при низьких концентраціях іонів важких металів.

**Постановка проблеми.** Важливою екологічною проблемою є забруднення поверхневих вод іонами важких металів, токсичний вплив яких на живі організми призводить до порушення протікання ферментативних реакцій. Стічні води електрохімічних

© Гомеля М. Д., Іванова В. П., Трус І. М., 2017

виробництв, наявних практично на кожному підприємстві машино- і приладобудування, – основне джерело надходження важких металів у водойми.

Значною мірою на надходження важких металів у водойми, разом з іншими промисловими підприємствами, впливають атомні електростанції [2; 3]. Ці промислові об'єкти характеризуються високим рівнем теплового забруднення та великими об'ємами стічних вод, що скидаються у водойми. Так, Запорізька атомна електростанція скидає щосекунди  $10 \text{ м}^3$  води в Дніпро, що сягає приблизно  $800\,000 \text{ м}^3/\text{добу}$ . При цьому вміст іонів міді у таких стоках досягає  $20 \dots 100 \text{ мкг/дм}^3$ .

Мідь входить до найбільш небезпечних забруднювачів навколишнього середовища [4]. Найбільший токсичний ефект вона надає на водні організми та екосистеми, що визначає низьке значення гранично-допустимої концентрації цієї речовини у воді [5]. При збільшенні концентрації міді до  $0,01 \text{ мг/дм}^3$  гальмуються процеси самоочищення водойм. При концентрації  $0,4 \dots 0,5 \text{ мг/дм}^3$  мідь згубно діє на мікрофлору, затримує розмноження організмів, амоніфікацію і нітрифікацію стічних вод. При концентрації міді  $1,0 \text{ мг/дм}^3$  помітно гальмуються процеси аеробного очищення стічних вод активним мулом (одна із стадій очищення вод системи міськводоканалів), зменшується кількість окисленого азоту у стічних водах, затримується утворення активного мулу [6].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні невідомі ефективні методи очищення води від іонів важких металів при таких низьких концентраціях у присутності іонів жорсткості.

Як показано авторами роботи [7], селективність катіоніту КУ-2-8 по іонах міді при низьких її концентраціях близька до селективності по іонах жорсткості. Тому при сорбції міді із стічних або природних вод із жорсткістю  $4 \dots 18 \text{ мг-екв/дм}^3$  при концентрації міді  $1 \dots 2 \text{ мг/дм}^3$  ємність іоніту по міді приблизно в стільки разів менша, як її концентрація щодо концентрації іонів жорсткості. Тобто без повного пом'якшення води неможливе глибоке очищення води від іонів міді іонообмінним методом. Це справедливо і щодо слабокислотних катіонітів [8]. Тому пропонують [9] організовувати замкнуті цикли в гальванічних виробництвах без скиду стічних вод.

Разом з тим при використанні модифікованих іонообмінних матеріалів сполуками марганцю та заліза [10] було досягнуто підвищення ефективності вилучення іонів важких металів із води. Крім того, коли ємність іоніту не вичерпано при сорбції інших домінуючих іонів (наприклад, іонів жорсткості), іоніти досить ефективно сорбують іони важких металів навіть при невисоких концентраціях. Це стосується як сильно-, так і слабкислотних катіонітів. А слабкислотні катіоніти мають високу ємність по двозарядних катіонах навіть при високих концентраціях конкуруючих однозарядних іонів [11]. Тому іонообмінні методи широко використовуються як у процесах глибокого пом'якшення, так і у процесах практично повної деіонізації води. Перспективні дані методи і при концентруванні іонів та солей в аналітичних методах, при добуванні рідкісних металів.

**Невирішеною частиною загальної проблеми** є неможливість дати оцінку ефективності вилучення з води іонним обміном іонів важких металів при концентраціях, нижчих  $1 \text{ мг/дм}^3$  (на рівні та нижче рівня їх ГДК у природних водах). А це дуже важливо, враховуючи концентрування важких металів у трофічних ланцюгах у природних водоймах та різне підвищення їх концентрації при евтрофікації водойм [12]. Враховуючи цю ситуацію, досить перспективним є визначення межі ефективності іонообмінного очищення від іонів важких металів як одного із найефективніших методів деіонізації води.

**Мета дослідження.** Метою роботи є визначення ефективності іонообмінних смол при сорбції катіонів важких металів з сильно розведених розчинів. Для цього вирішувались такі завдання:

– вивчення процесів сорбції іонів міді ( $1 \cdot 10^{-1} \dots 1 \cdot 10^{-6} \text{ мг/дм}^3$ ) на сильно- та слабкислотних катіонітах із дистильованої та водопровідної води, оцінка ефективності фільтрів змішаної дії при вилученні іонів міді з води;

– дослідження процесів катіонообмінного вилучення іонів свинцю ( $0,01\text{--}100\text{ мкг/дм}^3$ ) із водопровідної та дистильованої води на слабо- та сильнокислотних катіонітах, визначення ефективності десорбції іонів свинцю з катіонітів при використанні розчинів соляної кислоти;

– оцінка перспективності іонообмінних методів у процесах концентрування іонів важких металів із сильно розведених розчинів

**Матеріали та методи дослідження.** Як іонообмінні матеріали використовувалися слабокислотний катіоніт DOWEX MAC-3, сильнокислотний катіоніт КУ-2-8, високоосновний аніоніт АВ-17-8. Катіоніти використовувалися в  $\text{H}^+$ - та  $\text{Na}^+$ -формах, аніоніт – в  $\text{OH}^-$ -формі. Як модельні розчини використовувалися розчини сульфату міді та нітрату свинцю з концентраціями по іонах важких металів від  $1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-3}\text{ мкг/дм}^3$  у дистильованій та водопровідній воді.

Характеристики водопровідної води:  $\text{Ж} = 4,8 \dots 5,2\text{ мг-екв/дм}^3$ ,  $\text{C}_{\text{Ca}^{2+}} = 3,6 \dots 4,0\text{ мг-екв/дм}^3$ ,  $\text{Л} = 4,7 \dots 5,2\text{ мг-екв/дм}^3$ ,  $\text{C}_{\text{Cl}^-} = 37 \dots 50\text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{C}_{\text{SO}_4^{2-}} = 47 \dots 65\text{ мг/дм}^3$ ,  $\text{pH} = 7,10 \dots 7,57$ .

Концентрації іонів міді та свинцю визначали методом інверсійної хронопотенціометрії за методикою, описаною в роботі [13]. Цей метод аналізу забезпечував точність визначення міді та свинцю на рівні  $10^{-6}\text{ мг/дм}^3$  ( $10^{-3}\text{ мкг/дм}^3$ ).

Сорбцію проводили в динамічних умовах. Об'єм іоніту  $10 \dots 20\text{ см}^3$ . Колонка діаметром 2 см. Витрата розчину при сорбції  $10 \dots 15\text{ см}^3/\text{хв}$ , при регенерації  $1 \dots 2\text{ см}^3/\text{хв}$ . Регенерацію проводили розчином 2М соляної кислоти.

**Результати досліджень по видаленню іонів міді (II) та свинцю (II) іонообмінним методом.** Сильно- та слабокислотні катіоніти сорбують іони важких металів в присутності іонів жорсткості. Але ємність катіонітів за іонами важких металів знижується з підвищенням концентрації конкуруючих іонів – кальцію і магнію. Проте і при незначних концентраціях іонів міді вони сорбуються у присутності іонів жорсткості у пропорційній кількості з останніми [8; 9]. При цьому, за невеликих об'ємів профільтрованих через іоніти розчинів, коли ємність іоніту по сумарній кількості катіонів вичерпана частково, вони можуть сорбуватись з розчинів практично до вичерпання ємності іоніту. Однак, як показали проведені дослідження (рис. 1), на першому етапі сорбції ( $V_{\text{фільтрату}} = 0,6 \dots 1,8\text{ дм}^3$ ) на слабокислотному катіоніті DOWEX MAC-3 в  $\text{H}^+$ -формі ( $V_i = 20\text{ см}^3$ ) відбувається зниження концентрації іонів міді з  $0,1\text{--}0,2\text{ мг/дм}^3$  до  $(1,6 \dots 9,4) \cdot 10^{-3}\text{ мг/дм}^3$  при одночасному зменшенні жорсткості розчину з  $4,8\text{ мг-екв/дм}^3$  до  $0,40 \dots 0,46\text{ мг-екв/дм}^3$  (рис. 1).

На сильнокислотному катіоніті КУ-2-8 за тих же умов концентрація міді знизилась до  $(2,8 \dots 22,0) \cdot 10^{-3}\text{ мг/дм}^3$ , а жорсткість знизилась до  $0,08 \dots 0,10\text{ мг-екв/дм}^3$ . Обумовлено це селективністю іоніту по даних іонах, вихідною концентрацією іонів, зниженням pH середовища до  $3,00 \dots 3,14$  та конкуруючою сорбцією іонів жорсткості.

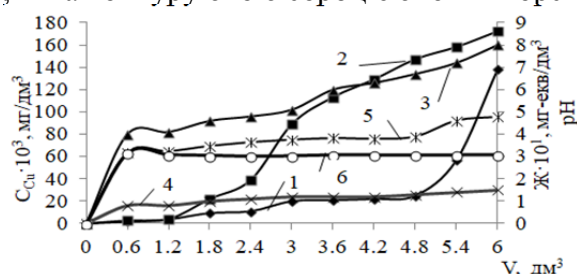


Рис. 1. Залежність концентрації іонів міді (1; 2), жорсткості (3; 4) та pH (5; 6) розчину сульфату міді у водопровідній воді ( $[\text{Cu}^{2+}]$ ,  $\text{мг/дм}^3$ :  $0,138$  (1; 3; 5);  $0,172$  (2; 4; 6),  $\text{Ж} = 4,8\text{ мг-екв/дм}^3$ ) від об'єму пропущеного розчину через катіоніти DOWEX MAC-3 (1; 3; 5) та КУ-2-8 (2; 4; 6) в  $\text{H}^+$ -формі ( $V_i = 20\text{ см}^3$ ) ( $\text{ОДЄ}_1 = 32\text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_2 = 25,3\text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_3 = 1269,6\text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_4 = 1405,5\text{ мг-екв/дм}^3$ )



Цими експериментами доведено, що проскок по іонах міді на катіоніті DOWEX MAC-3, рівний початковій концентрації даних іонів в розчині, наступив при фільтруванні всього 6,0 дм<sup>3</sup> води при заповненні катіонами всього 31,5 % ємності іоніту. На КУ-2-8 іони міді проходили через катіоніт без сорбції при пропусканні також 6,0 літрів розчину при заповненні катіонами приблизно 58 % ємності катіоніту. Очевидно, що ефективність вилучення катіонів міді в такому випадку залежить як від кінетичних, так і термодинамічних факторів. Так, при вихідній концентрації міді 0,331...1,569 мг/дм<sup>3</sup> при сорбції на катіоніті DOWEX MAC-3 в H<sup>+</sup>- та Na<sup>+</sup>-формі з водопровідної та дистильованої води обмінна динамічна ємність по міді була всього 2,5·10<sup>-6</sup>...2,14·10<sup>-3</sup> мг/дм<sup>3</sup> при заповненні ємності іоніту до 15 % (рис. 2).

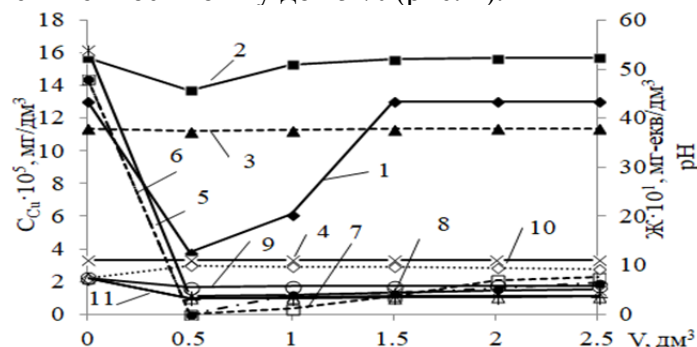


Рис. 2. Залежність вихідних значень концентрації іонів міді (1; 2; 3; 4), жорсткості (5; 6; 7) та pH (8; 9; 10; 11) розчинів сульфату міді у водопровідній (1; 2; 4; 5; 6; 7; 8; 10; 11) та дистильованій (2; 9) воді від пропущених об'ємів розчинів через катіоніт DOWEX MAC-3 ( $V_i = 20 \text{ см}^3$ ) в H<sup>+</sup>- (1; 2; 4; 5; 7; 8; 9; 11) та Na<sup>+</sup>-формі (3; 10) ( $\text{ОДЄ}_1 = 2,14 \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_2 = 6,15 \cdot 10^{-4} \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_3 = 8,25 \cdot 10^{-5} \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_4 = 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ мг/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_5 = 619,5 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_6 = 550 \text{ мг-екв/дм}^3$ ;  $\text{ОДЄ}_7 = 551 \text{ мг-екв/дм}^3$ )

Найнижчі значення ємності іоніту були при вихідній концентрації 0,3 мг/дм<sup>3</sup>, а також при сорбції на катіоніті в Na<sup>+</sup>-формі. Очевидно, що за концентрації іонів міді у воді приблизно 0,3 мг/дм<sup>3</sup> сорбція практично не проходить, так як даний вміст відповідає рівноважній концентрації міді в розчині для іонітів з карбоксильними групами.

Не сорбується мідь також і на катіоніті в Na<sup>+</sup>-формі через відносно вищу селективність катіоніту по іонам Na<sup>+</sup> в порівнянні з іонами H<sup>+</sup> та низьку концентрацію іонів Cu<sup>2+</sup> у воді. Дифузійний фактор тут мало впливає на процес обміну, тому що в статичних умовах при часі контакту розчину з іонітом отримано подібні результати [9].

Практично не відбувалась сорбція іонів міді на катіоніті в кислій формі із дистильованої води при концентрації 1,569 мг/дм<sup>3</sup> через зниження ємності катіоніту в кислому середовищі. Хоча в даному випадку через низьку сорбцію іонів міді підкислення розчину майже не спостерігалось (рис. 2, крива 9). pH сягало 5,52–5,83. Підкислення розчинів міді у водопровідній воді відбувалось за рахунок сорбції іонів жорсткості із води (рис. 2, крива 8, 11).

Слід відмітити, що використані концентрації іонів міді  $(3,31\text{--}13,02) \cdot 10^{-5} \text{ мг/дм}^3$ , або  $(1,04\text{--}4,10) \cdot 10^{-9} \text{ г-екв/дм}^3$  на 2 порядки нижчі, ніж концентрація протонів у дистильованій воді. Тому концентраційний фактор в даному випадку сприяє скорішес десорбції іонів міді, як їх сорбції. Іще нижчою є сорбційна ємність катіоніту КУ-2-8 по іонах міді в порівнянні з DOWEX MAC-3 при сорбції із сильно розведених розчинів. Так, при концентрації  $(1,302\text{--}1,569) \cdot 10^{-3} \text{ мг/дм}^3$  іони міді практично не сорбуються на катіоніті в H<sup>+</sup>- та Na<sup>+</sup>- формі як з дистильованої, так і з водопровідної води. При цьому при сорбції іонів міді з дистильованої води на катіоніті в H<sup>+</sup>-формі зниження pH з 7,36 до 5,25–5,74 відбувається за рахунок сорбції залишків іонів жорсткості в дистильованій воді.

При десорбції іонів міді з катіонітів КУ-2-8 та DOWEX MAC-3 використовувався розчин 2М соляної кислоти. В даному випадку концентрація кислоти вибиралася виходячи з того, що саме розчини HCl такої концентрації використовується при проведенні аналізу на приладі М – ХА1000–5.

В цілому, не дивлячись на мізерні кількості сорбованої міді, її десорбція проходить досить ефективно. При питомій витраті регенераційного розчину  $3,5 \text{ см}^3/\text{см}^3$  ступінь десорбції міді з катіоніту DOWEX MAC-3 досягає 92,37 %, з катіоніту КУ-2-8 – 91,68 %.

Таким чином, лімітуючим фактором для застосування іонного обміну при концентруванні іонів міді з розведених розчинів є низька ефективність сорбції.

Виходячи із відомої інформації про високу ефективність фільтрів змішаної дії при глибокій деіонізації, було вивчено процеси вилучення іонів міді з води при використанні суміші катіоніту КУ-2-8 в кислій формі та аніоніту АВ-17-8 в основній формі (рис. 3).

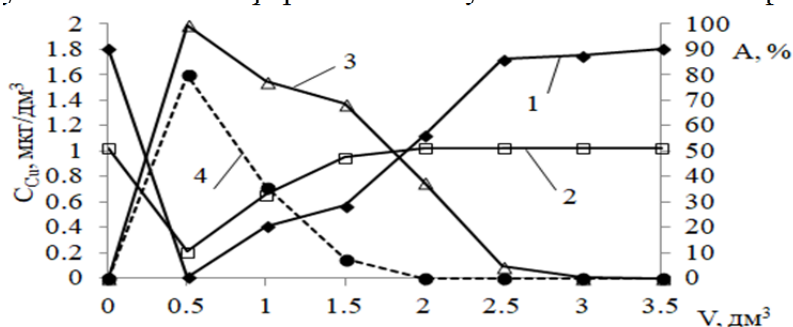


Рис. 3. Залежність концентрації (1; 2) та ступеню вилучення (3; 4) іонів міді із води від пропущеного об'єму розчинів з концентрацією  $1,800 \text{ мг/дм}^3$  (1; 3) та  $1,025 \text{ мг/дм}^3$  (2; 4) через фільтри змішаної дії із об'ємом катіоніту КУ-2-8 в  $\text{H}^+$ -формі та аніоніту АВ-17-8 в  $\text{OH}^-$ -формі,  $\text{см}^3$ : 30:40 (1; 3); 20:30 (2; 4)

При концентрації іонів міді на рівні приблизно  $1 \dots 2 \text{ мг/дм}^3$  лише в перших пробах відмічається суттєве зниження вмісту іонів міді у воді (рис.4). Тільки в одній пробі концентрація іонів міді знижується до  $0,007 \text{ мг/дм}^3$  ( $7,0 \cdot 10^{-6} \text{ мг/дм}^3$ ). При цьому ефективність вилучення іонів міді в значній мірі залежить від об'єму фільтруючого завантаження. Кращі результати отримано при об'ємі завантаження  $70 \text{ см}^3$ , в порівнянні із завантаженням об'ємом  $50 \text{ см}^3$ . Так, при концентрації іонів свинцю  $214,5 \text{ мг/дм}^3$  при відборі  $5,0 \text{ дм}^3$  фільтрату ( $V_f = 20 \text{ см}^3$ ) проскок іонів свинцю спостерігається на рівні  $6 \dots 12 \text{ мг/дм}^3$  і знаходиться в межах похибки аналізу [13].

При вихідній концентрації іонів свинцю  $0,026 \text{ мг/дм}^3$  ( $2,6 \cdot 10^{-5} \text{ мг/дм}^3$ ) проскок свинцю сягає  $1,1 \dots 1,8 \text{ мг/дм}^3$  і також знаходиться в межах похибки аналізу. Ще кращі результати отримані при використанні катіоніту КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ -формі (рис. 4).

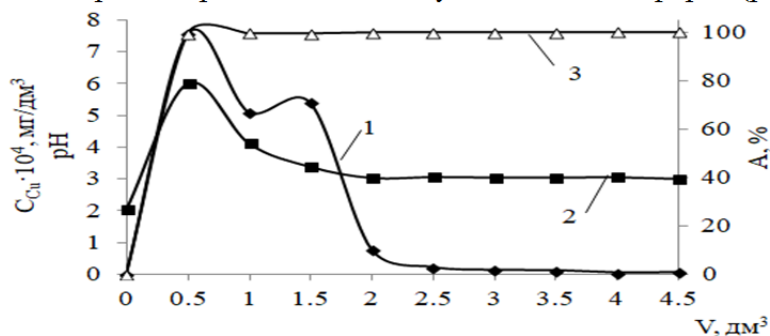


Рис. 4. Залежність концентрації іонів свинцю (1), pH середовища (2) та ступеню вилучення іонів свинцю (3) від пропущеного об'єму розчину нітрату свинцю ( $[\text{Pb}^{2+}] = 0,111 \text{ мг/дм}^3$ ) в дистильованій воді через катіоніт КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ -формі ( $V_f = 10 \text{ см}^3$ ) (ОДЄ =  $50 \text{ мг/дм}^3$ )

У цьому випадку при вихідній концентрації  $111 \text{ мкг/дм}^3$  вміст іонів свинцю в першій пробі фільтрату сягає  $0,756 \text{ мкг/дм}^3$  (ступінь вилучення  $99,30 \%$ ) і далі знижується до  $(5 \dots 6) \cdot 10^{-3} \text{ мкг/дм}^3$  при збільшенні об'єму фільтрату до  $4,0 \dots 4,5 \text{ дм}^3$  при об'ємі іоніту всього  $10 \text{ см}^3$ . Ступінь вилучення при цьому зростає до  $99,99 \%$ .

При вивченні десорбції іонів свинцю із слабокислотного катіоніту виявлено цікаву особливість (рис. 5).

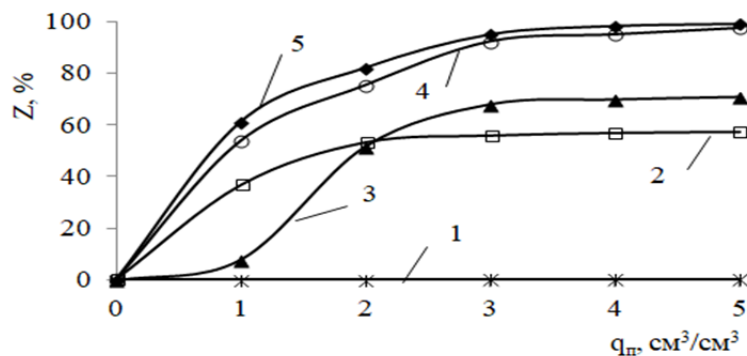


Рис. 5. Залежність ступеню десорбції іонів свинцю з катіонітів КУ-2-8 (1) та DOWEX MAC-3 (2; 3; 4; 5) від питомої витрати 2М розчину HCl ( $\text{см}^3/\text{см}^3$ ) при масі сорбованих іонів (мг) на  $20 \text{ см}^3$  іоніту: 1,00 (1); 1,072 (2); 0,994 (3); 0,0013 (4); 0,000124 (5)

Незважаючи на дуже незначні кількості сорбованого свинцю на катіоніті  $0,0062 \dots 53,600 \text{ мг/дм}^3$ , при використанні розчинів 2М HCl ефективність десорбції зростає із зменшенням маси сорбованого свинцю. Якщо при зниженні маси сорбованого свинцю з  $53,6$  до  $4,97 \text{ мг/дм}^3$  ступінь десорбції при питомій витраті розчину кислоти  $5 \text{ см}^3/\text{см}^3$  зростає з  $57$  до  $71 \%$ , то при масі сорбованого свинцю  $0,065 \text{ мг/дм}^3$  ступінь десорбції зростає до  $97 \%$  за тих же умов, а при масі сорбованого свинцю  $0,0062 \text{ мг/дм}^3$  – до  $99 \%$ .

Із сильноокислотного катіоніту при використанні 2М розчину HCl десорбція іонів свинцю при масі сорбованих іонів  $50 \text{ мг/дм}^3$  практично не відбувалася. Це говорить про досить високу селективність катіоніту із сульфонатними групами по іонах свинцю.

#### Висновки.

1. Таким чином, розглянуто та досліджено процеси сорбції та десорбції іонів міді на сильно- та слабокислотних катіонітах із сильно розведених розчинів. На сильноокислотних катіонітах мідь практично не сорбується з розчинів з концентрацією іонів міді  $\leq 1 \text{ мкг/дм}^3$ , на слабокислотних катіонітах з розчинів з концентрацією  $\leq 0,1 \text{ мкг/дм}^3$ . Мінімальна концентрація іонів міді після фільтрів змішаної дії сягає  $10^{-2} \text{ мкг/дм}^3$ .

2. Встановлено, що іони свинцю ефективно вилучаються із надрозведених водних розчинів при концентраціях менше  $1 \text{ мкг/дм}^3$ . Краще відбувається сорбція іонів свинцю на сильноокислотних катіонітах. При використанні розчинів 2М HCl ступінь їх десорбції із слабокислотного катіоніту зростає із зменшенням маси сорбованого свинцю.

3. Показано, що слабокислотні катіоніти забезпечують ефективне концентрування іонів свинцю із надрозведених розчинів. Застосування катіонітів для концентрування іонів міді доцільно при її мінімальних концентраціях  $1,01 \dots 1,00 \text{ мкг/дм}^3$ .

Виходячи із даних результатів, можна сказати, що слабокислотні катіоніти будуть ефективні при концентруванні свинцю з надрозведених розчинів з використанням стадій сорбції та десорбції. Сильноокислотні катіоніти краще використовувати при вилученні іонів свинцю із води.

**Список використаних джерел**

1. *Екологічна безпека водних екосистем і моніторинг якості води* : навч. посіб. / М. Д. Гомеля, Т. О. Шаблій, В. А. Копілевич та ін. ; під заг. ред. М. Д. Гомеля. – К. : Видавничий центр НУБіП України, 2013. – С. 143.
2. *Трохименко Г. Г.* Визначення ступеню кумуляції важких металів у гідробіонтах Бузького лиману / Г. Г. Трохименко, Н. В. Циганюк // *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. – 2015. – № 4. – С. 98–105.
3. *Progress in Chemical-Looping Combustion and Reforming technologies* / J. Adanez, A. Abad, F. G. Labiano, P. Gayan, L. F. Diego // *Progress in Energy and Combustion Science*. – 2012. – Vol. 38. – №. 2. – Pp. 215–282.
4. *Ивантер Э. В.* Экологическая токсикология природных популяций / Э. В. Ивантер, Н. В. Медведев. – М. : Наука, 2007. – 229 с.
5. *Исидоров В. А.* Введение в химическую экотоксикологию / В. А. Исидоров. – СПб. : Химиздат, 1999. – 144 с.
6. *Вредные химические вещества в промышленности* : справочник : в 3 т. Т. 3 / под ред. Н. В. Лазарева и Э.Н. Левиной. – Л. : Химия, 1976. – 608 с.
7. *Ahmad, A.* Removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood / A. Ahmad, M. Rafatullah, O. Sulaiman, M. H. Ibrahim, Y. Y. Chii, B. M. Siddique // *Desalination*. – 2009. – № 250. – Pp. 300–310.
8. *Малін В. П.* Ефективність застосування катіоніту КУ–2–8 при вилученні іонів міді з води в присутності іонів жорсткості / В. П. Малін, М. Д. Гомеля, В. М. Галімова // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки* : науково-технічний збірник. – 2016. – Вип. 26. – С. 45–54.
9. *Гомеля М. Д.* Вилучення іонів міді з води із застосуванням слабокислотного катіоніту DOWEX MAC–3 / М. Д. Гомеля, В. П. Малін, О. В. Глушко // *Вісник НТУУ «КПІ», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження»*. – 2016. – № 1 (15). – С. 60–65.
10. *Fu F.* Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review / F. Fu, Q. Wang // *Journal of Environmental Management*. – 2011. – № 92. – Pp. 407–418.
11. *Barakat M.* New trends in removing heavy metals from industrial wastewater / M. A. Barakat // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2011. – № 4. – Pp. 361–377.
12. *Шумилова А. А.* Исследование влияния эвтрофикации на повторное загрязнение Бугского лимана тяжелыми металлами / А. А. Шумилова, А. Г. Трохименко // *Вісник Національного університету кораблебудування*. – 2012. – № 1 – С. 56–62.
13. *Определение тяжелых металлов в водных экосистемах методом инверсионной хронопотенциометрии* / И. В. Суровцев, В. М. Галимова, В. М. Манк, В. А. Копилевич // *Химия и технология воды*. – 2009. – Т. 31, № 6. – С. 677–687.

**References**

1. Homelia, M.D. (ed.), Shablii, T.O., Kopilevych, V.A., Halimova, V.M., Lavryk, R.V., Surovtsev, I.V. (2013). *Ekolohichna bezpeka vodnykh ekosystem i monitorynh yakosti vody* [Environmental safety of water ecosystems and monitoring of water quality]. Kyiv: Vydavnychiy tsentr NUBiP Ukrainy, pp. 143–144 (in Ukrainian).
2. Trokhymenko, H.H., Tsyhaniuk, N.V. (2015). Vyznachennia stupeniu kumuliatsii vazhkykh metaliv u hidrobiontakh Buzkohoho lymanu [Determination of the degree of cumulation of heavy metals in hydrobionts of the Bug estuary]. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia – Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding*, no. 4, pp. 98–105 (in Ukrainian).
3. Adanez, J., Abad, A., Labiano, F. G., Gayan, P., Diego, L. F. (2012). Progress in Chemical-Looping Combustion and Reforming technologies. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 38 (2), pp. 215–282.
4. Ivanter, E.V. (2007). *Ekologicheskaya toksikologiya prirodnykh populyatsiy* [Ecological Toxicology of Natural Populations]. Moscow: Nauka (in Russian).
5. Isidorov, V.A. (1999). *Vvedenie v khimicheskuyu ekotoksikologiyu* [Introduction to chemical ecotoxicology]. St. Petersburg: Khimizdat (in Russian).
6. Lazarev, N. V., Levina, E.N. (eds.) (1976). *Vrednye khimicheskie veshchestva v promyshlennosti* [Harmful chemicals in industry]. Vols. 1-3. Vol 3. Lningrad: Khimiia (in Russian).

7. Ahmad, A., Rafatullah, M., Sulaiman, O., Ibrahim, M. H., Chii, Y.Y., Siddique, B. M. (2009). Removal of Cu (II) and Pb (II) ions from aqueous solutions by adsorption on sawdust of Meranti wood. *Desalination*, no. 250, pp. 300–310.
8. Malin, V.P., Homelia, M.D., Halimova, V.M. (2016). Efektyvnist zastosuvannya kationitu KU–2–8 pry vyluchenni ioniv midi z vody v prysutnosti ioniv zhorstkosti [Efficiency of application of cation exchanger KY-2-8 at removal of copper ions from water in the presence of rigidity ions]. *Problemy vodopostachannia, vodovidvedennia ta hidravliki – Problems of water supply, drainage and hydraulics*, no. 26, pp. 45–54 (in Ukrainian).
9. Homelia, M.D., Malin, V.P., Hlushko, O.V. (2016). Vyluchennia ioniv midi z vody iz zastosuvanniam slabokyslotnoho kationitu DOWEX MAC–3 [Removal of copper ions from water using weakly acidic cation exchanger DOWEX MAC-3]. *Visnyk NTUU «KPI», seriia «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia» – Bulletin of NTUU "KPI", series "Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation"*, vol. 1 (15), pp. 60–65 (in Ukrainian).
10. Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *Journal of Environmental Management*, no. 92, pp. 407–418.
11. Barakat, M. (2011). New trends in removing heavy metals from industrial wastewater. *Arabian Journal of Chemistry*, no. 4, pp. 361–377.
12. Shumylova, A.A., Trokhymenko, A.H. (2012). Yssledovanye vliyaniia evtrofykatsyy na povtornoie zahriazneniye Buhskoho lymana tiazhelymy metallamy [Investigation of the effect of eutrophication on re-contamination of the Bug estuary with heavy metals]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia – Collection of scientific works of the National University of Shipbuilding*, no. 1, pp. 56–62 (in Russian).
13. Surovtsev, I.V., Galimova, V.M., Mank, V.M., Kopilevich, V.A. (2009). Opredelenie tyazhelykh metallov v vodnykh ekosistemakh metodom inversionnoy hronopotentsiometrii [Determination of heavy metals in aquatic ecosystems by inversion chronopotentiometry], *Khimiia i tekhnologiia vody – Water chemistry and technology*, vol. 31 (6), pp. 677–687 (in Russian).

UDC 504.5:628.33

Nikolai Gomelya, Veronika Ivanova, Inna Trus

## EFFICIENCY OF EXTRACTION HEAVY METAL IONS FROM DILUTED SOLUTIONS BY ION-EXCHANGE METHODS

**Urgency of the research.** An important environmental problem is the pollution of surface water by heavy metal ions. High toxicity at low doses and the ability to accumulate in living organisms explains the growing need for correction of the content of metals in wastewater in accordance with worldwide standards. The method of ion exchange is of interest.

**Target setting.** Problems of contamination of natural waters, increase of volumes of sewage and search of effective methods of their clearing become actual.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The copper ion sorption processes with concentrations 1–2 mg/dm<sup>3</sup> on cation exchange KU-2-8 have been investigated. The selectivity of cation exchange on copper ions at low concentrations is close to the selectivity of ions of rigidity.

With the use of modified ion-exchange materials with manganese and iron compounds, an increase in the efficiency of extraction of heavy metal ions from water was achieved.

**Uninvestigated parts of general matters defining** is the impossibility of assessing the efficiency of extraction from the water by ion exchange of heavy metal ions at concentrations below 1 mg/dm<sup>3</sup>.

**The research objective** was to study sorption processes of copper ions and lead on cation exchangers, as well as use of mixed-action filters.

**The statement of basic materials.** The effectiveness of water purification decreased with a decrease in the initial concentration of metal.

The use of mixed-action filters is proposed. It was established that at copper ion concentration of 10<sup>-2</sup> µg/dm<sup>3</sup> the copper was not absorbed even with the use of mixed-action filters.

It is established that lead ions are practically completely removed on strongly acidic cationite at concentrations less than 0.1 µg/dm<sup>3</sup>. Regeneration should be done with a 2M solution of hydrochloric acid. The efficiency of desorption of lead ions reaches 100%. The degree of desorption of copper ions in some cases reaches approximately 90%.

**Conclusions.** Satisfactory results on the concentration of strongly diluted solutions of copper ions can be obtained at a concentration of copper ions up to 1 µg/dm<sup>3</sup>.

When using mixed-action filters copper can be removed from solutions at a concentration of 0.1 µg/dm<sup>3</sup>.

It has been established that lead ions are effectively removed from diluted aqueous solutions at concentrations less than 1 µg/dm<sup>3</sup>.

**Key words:** heavy metals; ion exchange; sorption; ion exchange regeneration; mixed action filter.

Fig.: 5. Bibl.: 13.

УДК 504.5:628.33

Николай Гомеля, Вероника Иванова, Инна Трус

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ РАЗБАВЛЕННЫХ РАСТВОРОВ ИОНООБМЕННЫМ МЕТОДОМ**

Исследованы процессы ионообменного извлечения ионов тяжелых металлов на слабо- и сильнокислотных катионитах. При концентрациях ионов меди ниже  $0,1 \text{ мкг/дм}^3$  их сорбция не происходит на слабокислотных катионитах и при концентрациях на уровне  $1 \text{ мкг/дм}^3$  на сильнокислотном катионите КУ-2-8. При концентрации меди  $10^{-2} \text{ мкг/дм}^3$  медь не сорбируется при использовании фильтров смешанного действия. Достигается практически полное извлечение свинца на сильно- и слабокислотных катионитах независимо от концентраций исходных растворов. При удалении ионов свинца степень извлечения увеличивается. При использовании 2М раствора соляной кислоты эффективность десорбции ионов свинца достигает 100 %. Степень десорбции ионов меди достигает примерно 90 %.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; ионный обмен; сорбция; регенерация ионита; фильтр смешанного действия.

Рис.: 5. Библ.: 13.

**Гомеля Микола Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Гомеля Николай Дмитриевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Gomelya Nikolai** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** m.gomelya@kpi.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1165-7545>

**Author ID:** 6507653734

**h-index** – 1

**Іванова Вероніка Петрівна** – інженер хімік-технолог, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Іванова Вероника Петровна** – инженер химик-технолог, кафедра экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Ivanova Veronika** – Engineer chemist-technologist, Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** veronika\_m\_p@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4551-9389>

**Трус Інна Миколаївна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Трус Инна Николаевна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (пр. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Trus Inna** – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of ecology and technology of plant polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** inna.trus.m@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

*Володимир Індутний, Ніна Мережко, Ніна Калуга***ТОВАРОЗНАВЧА ОЦІНКА АНТИКВАРНИХ  
МОНЕТ НА РИНКУ УКРАЇНИ**

**Актуальність теми дослідження.** Антикварні монети є товаром, широко представленим на ринках різних країн, у тому числі на ринку України, який має постійний попит.

**Постановка проблеми.** З метою попередження можливості продажу антикварних монет за ціною, яка є нижчою ціни матеріалу, з якого вони виготовлені, важливо мати обґрунтовану методику для визначення їх прогнозованої вартості.

**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 не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Оцінювання антикваріату має свою специфіку, тому існує нагальна потреба в методичних підходах до визначення прогнозованої вартості антикварних монет.

**Постановка завдання.** Мета цієї роботи полягає в дослідженні поточних цінних показників на антикварні монети, що представлені на ринку України, а також створенні комплексної шкали для оцінки їхньої якості та відповідної класифікаційної моделі.

**Виклад основного матеріалу.** У статті описано процес проектування шкали для оцінки якості антикварних монет. В основу шкали покладені уявлення про кількість позитивної інформації про товар, пропорційним до якої є показник прогнозованої вартості. Виділено три інтервали вартісних показників антикварних монет на ринку України та дана їх характеристика. Подано кілька прикладів прогнозування вартості, які демонструють ефективність запропонованої розробки в завданнях незалежної вартісної оцінки.

**Висновки.** На основі результатів дослідження запропоновано комплексну шкалу для оцінки якості антикварних монет, яка включає сім критеріїв.

**Ключові слова:** антикварні монети; аналіз ринку; якість; прогнозована вартість; критерії оцінки.

Табл.: 3. Бібл.: 9.

**Постановка проблеми.** Старовинні монети є найбільш інформаційно ємним та змістовно урізноманітненим видом антикварних товарів, що широко представлений на усіх світових ринках. Вони користуються сталою популярністю завдяки існуванню численних асоціацій колекціонерів, спеціалізованих аукціонів та спеціальної літератури, яка всебічно висвітлює відповідний вид колекціонування та сприяє науковому освоєнню інформації історичного змісту.

Товарознавство, яке вивчає товари через призму знань про їх споживчі якості, нині, на наш погляд, недостатньо приділяє уваги до вивчення ринку пам'яток нумізматики й, таким чином, залишає за межами досліджень цілий спектр цікавих явищ, притаманних цьому ринку, які можуть значно збагатити наукову теорію та практику. Отже, вивчення товарознавства антикварних монет є нині актуальним та цікавим для спеціалістів.

Монети, як еквівалент цінності, з'явилися в дуже віддалені від нас часи – найвірогідніше у пізньому енеоліті – у зв'язку з появою розподілу праці та створенням умов для уніфікації процесу обміну товарами й послугами. Протягом віків гроші набули статусу особливого й універсального товару, за допомогою якого оптимізуються торгові операції та визначаються ознаки привабливості тих чи інших видів діяльності [1; 2; 9].

Крім того, старовинні монети є джерелом важливої історичної інформації, адже на них бачимо портрети видатних особистостей, герби, державну, релігійну й військову символіку, позначки, які свідчать про час їх побутування, важливі написи та символи, що фіксують визначні події минулого. Старовинні монети також вказують на технологічний рівень обробки металу та способи його афінажу. Назване, звичайно, це лише частина інформації, яка є важливою для історичної науки й викликає жвавий інтерес колекціонерів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [6] викладено теоретичні засади і практичні рекомендації для прогнозування вартості культурних цінностей, наведено приклади оцінки культурних цінностей різних типів і видів. У статті [8] представлено загальну методику аналізу ринку культурних цінностей за якісними та вартісними параметрами.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Антикварні монети є товаром, широко представленим на ринках різних країн, у тому числі на ринку



України, який має постійний попит. Оцінювання антикваріату має свою специфіку, тому існує нагальна потреба в методичних підходах до визначення прогнозованої вартості антикварних монет.

**Мета статті.** Мета роботи полягає у створенні перманентної та достатньо представницької бази вихідної інформації про особливості розподілу вартісних характеристик старовинних монет на ринку України та розробці обґрунтованих пропозицій щодо поділу усієї їх сукупності на окремі товарознавчі групи, проектуванні уніфікованого протоколу для незалежної оцінки якості та прогнозування їх вартості, а також обрахуванні індикаторних показників вартості для забезпечення практичних потреб оціночної діяльності незалежних експертів [4].

**Виклад основного матеріалу.** Вихідними даними для проведення аналізу слугувала інформація найбільш представницького в Україні Інтернет-аукціону «Violity», де повсякденно представлені численні пропозиції власників колекційних монет та окремих нумізматичних лотів багатьох антикварних магазинів. Загальна кількість одночасно представлених нумізматичних лотів перевищує сто тисяч зрізів.

Особливістю цього аукціону є те, що мінімальна стартова вартість пам'яток при їх первісній експозиції дуже часто визначається однією гривнею або дуже незначною сумою. Вона, як правило, є значно меншою вартістю ніж скупівельна вартість (вартість, за якою здійснюють скупку банки та ломбарди) лому відповідних кольорових та дорогоцінних металів, з яких виготовляють монети. Водночас така декларація продавця дозволяє стимулювати потенційного покупця й дуже швидко встановити рівень ліквідності відповідного артефакту, який визначатиметься рівнем приросту кількості учасників торгів у перший день продажу. Важливим є також загальна кількість активних претендентів на його придбання, а також можливість з'ясування переліку тих власних ознак товару, які найбільш приваблюють потенційного покупця.

Отже, для проведення досліджень сучасного стану ринку антикварних монет ми сформували базу вихідної інформації у вигляді таблиці, до якої включили 315 пропозицій з продажу на Інтернет-аукціоні «Violity» (табл. 1). Оскільки аукціоном на продаж представлені монети, класифіковані за різними віковими категоріями, до базової таблиці включалися монети незалежно від їх віку, матеріалу, з якого вони виготовлені, та рівня стартової вартості.

Такий підхід пояснюється необхідністю дотримуватися основного закону товарознавства – «чим більше позитивної інформації про товар (пам'ятку культури), тим вище його якість та ринкова вартість» [6]. До позитивної інформації відносимо усі види відомостей, які є цікавими для потенційного покупця.




Таблиця 1




*Фрагмент впорядкованої за вартістю (від найменшої до найбільшої вартості) інформаційної бази для вивчення стану українського ринку антикварних монет (лютий-травень 2017 р.)\**

№ з/п	Характеристика монети представлена продавцем	Стартова вартість у гривнях	Поточна вартість у гривнях	Кількість ставок	Фото монети
1	2	3	4	5	6
1	50 сен Сьова 3, Японська імперія	1	1	1	
2	Септімій Север	1	1	0	



Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
3	Рубль 1901 ФЗ срібло	1	1	0	
4	Гданський грош 1620	1	2	2	
5	1 карбованець СРСР 1924 р.	1	610	15	

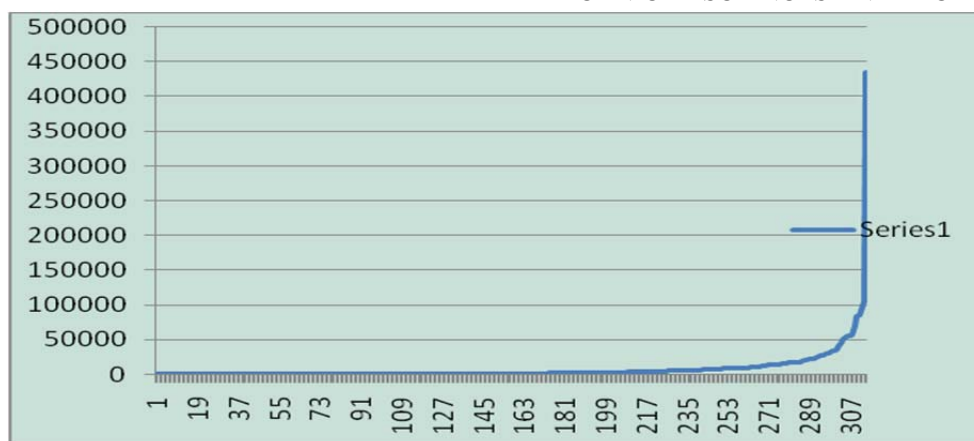
313	Ауреус Фаустіни. Золото	92000	92000	0	
14	Юнайт 1625 р. Бри- танія. Золото, вага- 8,95 г	105000	105000	0	
315	Бінію подвійний ауреус – Марк Клавдій Таціт (275-276). Золото	1	435231	116	

\*<http://auction.violity.com>

Інформація про монети, яка подається власниками лотів, є дуже стислою й, таким чином, для пересічного покупця важко зрозуміти, яка монета становить цінність, а яка – ні, а оцінити її лише з назви та короткого опису неможливо. Цінність монети може визначити лише компетентний потенційний покупець, який має певні мотивації до придбання. Консультації, які ми отримали від колекціонерів, підтверджують, що ці мотивації стосуються таких властивостей відношення, як вік, кількість випущених монет (тираж), їх причетність до знаменних історичних періодів та видатних особистостей, стан збереженості, наявності на них знаків, тавр, емблем, девізів тощо. Звичайно, велике значення має також матеріал, з якого монета була виготовлена.

Серед недоліків сучасної аукціонної торгівлі антикварними монетами слід відзначити відсутність належної супровідної атрибутивної документації про їх походження, автентичність та історію побутування. Відтак, у покупця існує загроза придбання підробленої монети – симулянта. Крім того, подеколи в результаті торгів кінцева вартість монет, виготовлених з дорогоцінних металів, може виявитися меншою аніж скупівельна вартість матеріалу, з якого вони виготовлені, що, звичайно, приваблює учасників ринку дорогоцінних металів й може привести, врешті-решт, до знищення цінних монет.

Для візуалізації характеру розподілу вартісних характеристик антикварних монет на ринку України використаємо впорядковану за зростанням показника вартості діаграму (рис. 1).



*Рис. 1 Розподіл вартісних показників на антикварні монети представлені на ринку України. Вісь ординат – вартість монет у гривнях; вісь абсцис – порядок вартості – номер монет в ряду споріднених виробів, поіменованих у табл. 1*

Слід звернути увагу на те, що усі лоти на момент укладання табл. 1 знаходилися у стані продажу й, таким чином, їх кінцева вартість не була нам відомою, так само як і факт продажу. Вартість, яка зафіксована в базі вихідної інформації, є перманентною й знаходиться у стані постійного зростання. Разом з тим загальна тенденція розподілу показників вартості на предмети, що представлені у табл. 1, є сталою характеристикою ринку й змінюється дуже повільно та у незначній мірі – з року в рік. Отже, найбільш корисним джерелом інформації про стан ринку антикварних монет є графік розподілу показників вартості (рис. 1).

З представленого графіка видно, що лівова частка антикварних монет, що представлені на сучасному антикварному ринку, характеризуються низькими показниками вартості. Ці монети можна віднести до окремої товарознавчої групи, яка може бути названа «**традиційні колекційні монети**». Це монети, випущені у недавній час великими тиражами й добре відомі колекціонерам. Кінцева вартість таких монет після закінчення торгів не перевищує 200 гривень за штуку. Монети більш дорогі – це більш старі й маловідомі монети, включення яких до колекцій значно збільшує якість добірки. Вартість таких монет можна визначити інтервалом від 200 до 20 000 гривень. Найбільш дорогі монети, які продаються за ціною більшою 20 000 гривень, – це рідкісні або унікальні взірці нумізматичних колекцій, які мають виключну цінність для історичної науки. Представлений поділ обумовлюється лише зручностями для проведення подальшого аналізу особливостей реалізації цього товару на ринку та ціноутворення на нього й не претендує на універсальність.

Для перевірки гіпотези щодо виконання основного закону товарознавства, наведеного вище, слід трансформувати вісь ординат у логарифмічну шкалу, тобто таким чином, щоб вона була пропорційною до кількості корисної інформації про монети у бітах [6; 7; 8] (рис. 2). Очевидно, що характер розподілу логарифмованих за основою «2» показників вартості вздовж осі абсцис неоднаковий й може бути поділений на кілька інтервалів.

Універсальне пояснення цього феномену ми знаходимо в тому, що вартість товару на ринку зростає пропорційно збільшенню позитивної інформації про нього, а показник кількості інформації, за дефініцією, обчислюється на основі ступеневої функції [5; 8]. Крім того, відповідно до ступеневої функції на реальному ринку розподіляються фінансові можливості потенційних покупців [5], серед яких більшу частину становлять представники з обмеженими можливостями. Отже, більш дешеві товари є більш ліквідними, а значить, їх кількість на ринку є домінуючою.



*Рис. 2. Графік розподілу логарифмованих вартісних показників антикварних монет. Вісь ординат – логарифмована за основою 2 шкала вартості; вісь абсцис – перелік монет у порядку зростання їх вартості. Вертикальні лінії вказують на можливість поділу усієї множини представлених у вибірці монет на окремі товарознавчі групи, які відрізняються за видом функції, що описує характер розподілу вартісних показників*

**Перший інтервал** (від першої до 50 монети в таблиці вихідних даних), який можна назвати «інтервал стартових показників вартості» характеризується найбільш стрімким зростанням вартості. Цей інтервал не описується поіменованим вище законом і вказує лише на початкову стадію зростання вартості, пов'язану з появою конкуренції серед групи активних потенційних покупців, які вирішують не тільки завдання придбання вказаної монети, але й сподіваються на її більш швидкий і дорогий перепродаж при повторній експозиції.

Верхня частина інтервалу (монети за номером 50 та 51, які описується вартістю 100 гривень), вказує на найбільш вірогідну **ліквідаційну вартість** [4] та можливу базу оцінки монет при побудуванні експертами прогнозних показників. Важливо зазначити, що інтервал не може розглядатися як окрема товарознавча група, оскільки на цьому рівні вартісних показників відбувається дуже невелика кількість операцій купівлі-продажу, вартість не пов'язується з важливою атрибутивною інформацією про монети або з будь-якими змістовними мотиваціями. Отже, пряма залежність вартості й кількості позитивної інформації про об'єкт оцінки відсутня. Уся корисна інформація лімітована й не може бути змістовно освоєною. В цьому інтервалі монети часто мають вартість меншу, ніж матеріали, з яких вони створені.

Тенденція, за якою можна досить точно прогнозувати вартість у названому інтервалі, зазвичай, може бути аналітично описаною, але, виходячи з названих причин, не має практичного значення для вирішення експертних питань.

Єдина рекомендація, яка є вагомою для експертів, полягає у тому, що при здійсненні прогнозування вартості антикварних монет слід прийняти до уваги, що їх базова вартість на цьому інтервалі повинна встановлюватися на рівні 100 гривень, й це дозволяє узгодити результати застосування процедур оцінювання якості згідно з спеціальним протоколом та прогнозованою вартістю.

**Другий інтервал** (рис. 2) вартісних показників є найбільш широким та таким, що повністю віддзеркалює взаємну відповідність спостережених на ринку показників вартості монет до кількості позитивної інформації про них. Інтервал, представлений у логарифмічній шкалі, може бути описаним аналітично лінійною функцією, параметри якої обчислюємо на основі методу найменших квадратичних відхилень К. Ф. Гаусса [3]:  $C = 2^{0,04x - 2,66}$ , де  $C$  – прогнозована вартість;  $x$  – порядок вартості.

При цьому якість апроксимації асимптотично встановленою функцією впорядкованої за зростанням послідовності спостережуваних характеристик вартості монет, обрховану за допомогою коефіцієнта кореляції за К. Пірсоном [3], становить 0,99. Це свід-

чить про високу якість апроксимації та обґрунтованість застосування гіпотези про відповідність показників вартості до кількості позитивної інформації про товар.

Відновивши вісь ординат в одиницях виміру вартості, отримаємо можливість вивчення співвідношення спостережених та теоретично обрахованих показників вартості (рис. 3).

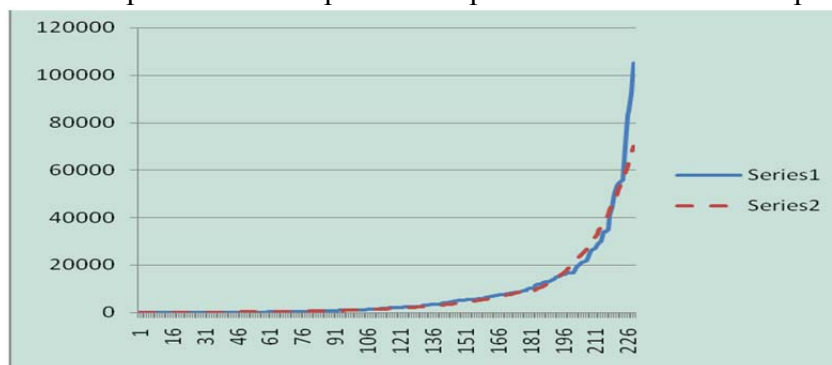


Рис. 3. Графік розподілу вартісних показників антикварних монет другої групи: ряд 1 – спостережені показники вартості; ряд 2 – теоретично обраховані

У межах поіменованого інтервалу споріднених за якісними й вартісними характеристиками монет корисна інформація про них є також частково обмеженою. Як правило, це лише відомості щодо часу створення, тиражування та наявності на них важливих зображень і позначок. Серед цих монет вже зустрічаються цінні пам'ятки історії. Лоти антикварних монет, представлені у цьому інтервалі, розраховані на задоволення гуманітарних потреб найбільш широкого кола колекціонерів. До цього ж інтервалу вартісних показників відносимо окремі лоти, які є цінними, але нині ще не досягли належної оцінки в ході торгів.

**Третій інтервал** описує стан, коли кінцева вартість монети дуже висока й не є вмотивованою кількістю позитивної інформації про неї, що пояснюється наявністю ажіотажного попиту серед учасників аукціону, які швидко підіймають її цінність у показниках вартості. Показник кількості позитивної інформації про товар, у цьому випадку, є дефіцитарним, однак, спостерігається жорстка конкурентна боротьба між тими нечисельними потенційними покупцями, які можуть дозволити собі витратити значні кошти на придбання даного лоту.

Цікавим є те, що експерт здебільшого не може прогнозувати появу ажіотажного попиту без додаткових відомостей, адже не має можливості бачити підстав для цього – наявних фінансових можливостей потенційних покупців, можливостей подальшого використання монети в фінансових операціях, з рекламною метою, у виставкових комерційних проектах та інше. В таких випадках доцільно спробувати дослідити потенційні можливості використання монети з метою отримання прибутку від трансфертних операцій в майбутньому.

Описаний вище інтервал вартісних показників монет представлений невеликою кількістю найбільш дорогих монет, які оцінюють в межах від 20 000 до 500 000 гривень. Вони характеризуються великою кількістю змістовної супровідної інформації про вік, тираж, історію побутування, високу художню та історичну цінність, приналежність важливим періодам історії, складні техніки виготовлення та інше. Прогнозування вартості таких взірців можна здійснювати у відповідності з протоколом оцінки культурних цінностей, описаному в [8], приймаючи за базу оцінки 100 гривень (найбільший показник вартості у першому інтервалі вартісних показників).

З поданих вище результатів спостереження характеру розподілу показників вартості на антикварні монети, які реалізуються в умовах аукціону, можна зробити висновок про доцільність виділення та детального опису лише двох окремих товарознавчих груп об'єктів нумізматики, які представлені на ринку України, а саме, монет, які описуються другим та третім інтервалом вартісних показників.

Враховуючи раніше проведені нами дослідження [7], опис товарознавчих груп слід здійснювати на основі переліку відповідних та ранжованих критеріїв для оцінки якості, за допомогою яких експерт формалізує процедуру обліку кількості корисної інформації про предмет експертизи й, відповідно з ним, здійснює прогнозування вартості (у цьому випадку критерій – висловлювання, істинність якого залежить від одного або більше інших висловлювань, що знаходяться у причинно-наслідкових зв'язках).

Таким чином, загальна оцінка якості прогнозування вартості монет й оціночної діяльності у цьому секторі торгівлі визначається параметрами зв'язку між кількістю позитивної інформації про предмет експертизи та порядком вартості, який спостерігають на відкритому ринку [7].

Вивчаючи описи представлених в табл. 1 збірців, а також вхідної інформації про них на Інтернет-аукціоні, можна пересвідчитись у тому, що характеристики якості майже усіх представлених там предметів описуються за допомогою дуже обмеженого переліку критеріїв. Так само описи монет, що зустрічаються в літературі, також описують невеликою сукупністю критеріїв. Відтак, ми пропонуємо здійснювати облік корисної інформації про лоти на основі спрощеної форми протоколу, представленої в табл. 2. Це сім критеріїв, які описують якість пам'ятки (лоту) дискретно у бітах інформації й, відповідно, набувають значень 1, 2, 4, 8....

Таблиця 2

*Протокол для якісної оцінки антикварних монет на ринку України*

№ з/п	Короткий опис критерію оцінки якості	Ранжування критерію	Індекс збільшення якості	Результат оцінки*
1	Вік монети	Невідомий	0,5	4
		Сучасна - до 50 років	1	
		До 100 років	2	
		До 300 років	4	
		- До 1000 років	8	
		- До 2000 років	16	
		- Більше 2000 років	32	
2	Рівень популяризації монети в енциклопедичних виданнях	- Монета, не описана в енциклопедичних виданнях	0,5	2
		- Монета побіжно згадується в енциклопедичних виданнях	1	
		- Популярна монета	2	
		Дуже популярна монета	4	
3	Рівень причетності монети до видатних періодів світової історії	Відсутня	1	1
		Побіжна причетність	2	
		Безпосередня причетність	4	
4	Тиражованість	- Тиражована	1	2
		- Рідкісна	2	
		- Унікальна	4	
5	Рівень технічної досконалості продемонстрований при виготовленні монети	- Пересічний рівень	1	1
		- Складний рівень	2	
		- Найвищий рівень	4	
6	Художня цінність монети	Відсутня	1	1
		Присутні ознаки декорування	2	
		Висока художня цінність	4	
7	Стан збереження монети	Без пошкоджень	1	1
		Задовільний стан збереження	0,5	
		Незадовільний стан збереження	0,25	
		Дуже значні пошкодження	0,125	
		У фрагментах	0,065	
Сукупний індекс якості антикварної монети «V», який описується добутком усіх показників облікованих у стовпчику «4».				16

\*Показники у стовпчику відповідають оцінці срібного карбованця СРСР 1924 року, оціненого нижче.

Зауважимо, що протокол оцінки якості антикварних монет є спрощеним варіантом більш загального протоколу, описаного раніше [6], тому його практична цінність полягає у спрощеній товарознавчій оцінці та зручності використання в експертній справі. Звичайно, сфера використання протоколу є обмеженою дослідженнями стану ринків нумізматичних пам'яток.

Згідно з протоколом перший критерій якісної оцінки антикварних монет - це вік. Це важлива характеристика, яка часто вказує потенційним покупцям на інші позитивні якості монети – її причетність до культурних традицій (другий критерій) та причетність до історичних подій. Відсутність віку суттєво знижує інформаційну цінність супровідної інформації й, відповідно, привабливість лоту.

Другий та третій критерії оцінки дозволяють підвищити привабливість лотів шляхом обліку інформації про спосіб використання монет у соціогенеруючих обрядах обдаровування та причастя. Відповідна інформація традиційно вважається дуже важливою для формування колекцій та суттєво впливає на вибір потенційного покупця.

Четвертий критерій – «тиражованість» - надзвичайно важливий й суттєво впливає на оцінку якості нумізматичних колекцій в цілому. Для монет - це другий за значимістю критерій, однак він є лише четвертим в загальному протоколі оцінки культурних цінностей, описаному в [6].

Важливою є також інформація, яка описується рештою критеріїв.

Вивчаючи запропонований протокол для оцінки антикварних монет (останній підсумковий рядок), бачимо, що найбільш цінні монети будуть описуватись сукупним індексом якості «V», який дорівнюватиме 1024 умовних одиниць або 10 бітами корисної інформації. Найменш цінні взірці описуватимуться сукупним індексом якості, який визначається показником - 0,0325 умовних одиниць, що, в свою чергу, свідчить про наявність контраверсійної інформації та недостачі інформації у об'ємі 32 біт.

В описаному протоколі не використовують поняття контраверсійного критерію, як це вимагалось раніше в більш розширеному варіанті протоколу [6], адже факт наявності дефіциту корисної інформації про експонований лот не є предметом дискусії з покупцем, який, як правило, має більш повні знання про предмет купівлі, аніж продавець.

Якість антикварних монет визначають номенклатурно за допомогою термінології, описаної в загальній класифікації культурних цінностей [6], спрощений варіант якої представлений в табл. 3.

Таблиця 3

Загальна номенклатурна класифікація антикварних монет

Номенклатурне визначення якості пам'яток нумізматики		Сукупний індекс якості
Пам'ятки культури родового та місцевого рівня значимості		1-4
Пам'ятки культури національного рівня значимості	III порядку	8-16
	II порядку	32- 256
	I порядку	512-16384

Цілком очевидно, що представлена сукупність критеріїв для оцінки якості є лише частиною з можливого та дуже широкого переліку критеріїв, які ми рекомендували брати до уваги при оцінці якості та прогнозуванні вартості пам'яток культури [6]. Причина, за якою обмеження переліку критеріїв при відкритих торгах з аукціону вважають доцільними, пояснюється тим, що більшість колекціонерів, які є потенційними споживачами цих лотів, добре ознайомлені з історією розвитку та видовою специфікою монет, мають власний досвід та інтуїцію, щоб суттєво й без зайвих протоколів, а лише на основі власних знань та візуальних спостережень, доповнити неоголошену частину інформації та зробити необхідні висновки.

Крім того, власники аукціону, які мають прибуток з надання послуг продажу, розуміють, що суттєвою мотивацією до купівлі виступає лише те, що потенційний покупець



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

має більше інформації про лот, ніж продавець. Такий стан речей дозволяє йому отримати в подальшому більшу вартість лоту при його перепродажу або для створення цінної колекції.

Наприклад, якщо покупець знає історію побутування предмету, його причетність до видатних осіб, знає про обмеженість тиражу або можливість використання предмету при перепродажу з доданою вартістю, то це стимулює його до участі в торгах.

Зауважимо, що речі, які становлять культурну цінність національного та світового рівнів значення [6] і супроводжуються фаховою атрибутивною документацією, можуть набутися дуже високих оцінок якості і стати дуже дорогими. Такі предмети, як правило, не продаються з Інтернет-аукціонів (крім випадків, які потребують легалізації прав власності та законності способу придбання). Вони використовуються у фінансових операціях, а також з метою отримання прибутків у результаті виставкової діяльності. Зокрема, ми вже наголошували на тому, що в мережі Інтернет широко представлені численні сайти антикварних магазинів, де пропонуються дуже дорогі взірці антикварних монет за цінами, сформованими власниками, й експозиція таких лотів не обмежується у часі.

Для демонстрації можливостей практичного використання описаних вище способів оцінки якості й вартості антикварних монет, а також дослідження реляції «якість – вартість» у практичному прогнозуванні вартісних показників, розглянемо кілька прикладів.

У якості першого прикладу розглянемо монету - Баварський срібний талер 1865 року вагою 18,41 грама (рис. 3), продану з поіменованого вище аукціону за ціною 1810 гривень при вартості срібла, з якого вона виготовлена, 253,68 гривень (вартість срібла 13,78 гривень за грам відповідно до ставки Національного банку України станом на 21.08.2017 р.).



Рис. 3. Баварський срібний талер 1865 року

Застосовуючи описаний вище протокол оцінки (табл. 2), розрахуємо сукупний індекс якості антикварної монети, який становитиме 16 умовних одиниць. Цей індекс дозволяє сформулювати номенклатурне визначення якості монети як **«пам'ятки культури національного рівня значення третього порядку»**, а також розрахувати її прогнозний показник вартості «С»:  $C = 16 \cdot 100 = 1600$  гривень, де 16 – сукупний індекс якості; 100 – база оцінки, а саме, найменше значення вартості у другій товарознавчій групі.

Ця монета була продана за 1810 гривень. У торгах прийняли участь 48 потенційних покупців, що дозволяє нам зробити висновок про наявність часткової невідповідності прогнозованої вище вартості до спостереженого ринкового показника, що пов'язано з виникненням мало підвищеного попиту. Стартова вартість, встановлена продавцем, становила лише десять гривень, отже, більша частина учасників торгів могла сподіватися на швидкий прибуток від придбання монети за ціною, нижчою від скупівельної вартості срібла, з якого вона виготовлена (продавець не має права зняти власний лот з продажу під час торгів і правилами аукціону зобов'язується продати монету за кінцевою ціною). Однак на певному етапі в конкурентних відносинах залишилися лише колекціонери.

Враховуючи викладене, можна дійти висновку, що прогнозна вартість, обрахована за допомогою протоколу, є найбільш обґрунтованою для використання в завданнях експертизи.

Другий приклад. На експертизу та оцінку була представлена унікальна срібна монета – перша давньоєврейська монета «чверть шекеля» (66–71 рік нашої ери) (рис. 4). Маса –

3,2 грами. Розміри:  $(15,3 - 15,8) \times 3,2$  мм (фото 2). Вартість срібла в монеті – 44,09 гривень. На аверсі в центрі зображено арабську цифру «1», знак ділення на чотири «X», а також дві гілки граната. На реверсі три пальмових гілки, напис та зображення перлин по периметру. Гурт гладкий. Збереженість монети задовільна.



Рис. 4. Аверс та реверс монети

Застосовуючи протокол оцінки (табл. 2), розрахуємо сукупний індекс якості антикварної монети, який становитиме 256 умовних одиниць. Цей індекс дозволяє сформулювати номенклатурне визначення якості монети як **«пам'ятки культури національного рівня значення другого порядку»**, а також обрахувати її прогностичний показник вартості «С»:  $S = 256 \cdot 100 = 25\,600$  гривень, де 256 – сукупний індекс якості; 100 – база оцінки, тобто, найменше значення вартості.

Звичайно, у разі появи ажіотажного попиту в процесі торгів, ціна придбання такої монети може значно зрости, але стартова вартість, обрахована за протоколом, є обґрунтованим й несуперечним показником, а отже, повинна встановлюватися саме на цьому рівні. Такий підхід є запобіжним проти можливості продажу монети за ціною значно нижчою вартості срібла, з якого вона зроблена. Крім того, бачимо, що за вартісним показником ця монета повинна описуватися як унікальна та така, що описується найвищими показниками якості.

Слід пояснити також особливості визначення якості та прогнозування вартості рідкісних та унікальних пам'яток нумізматики, таких, як, наприклад, остання золота монета в таблиці вихідних даних (табл. 1). Звичайно, до таких об'єктів дослідження слід застосовувати більш розширений протокол [6], в якому додатково відображати результати підвищення оцінки якості за такими критеріями як: «причетність пам'ятки до визначних подій світової історії», «наукова значимість пам'ятки», а також «індекс ліквідності». Кожен з поіменованих критеріїв буде підвищувати сукупний індекс оцінки якості згідно зі значенням «4». Сукупний індекс підвищення якості за цими критеріями становитиме 64. Оцінювання монети за поданим вище скороченим протоколом (табл. 2) приведе до індексу сукупної оцінки якості, який також становитиме 64. Перемножуючи ці індекси, тобто здійснюючи процедуру складання відповідних показників кількості корисної інформації у бітах, отримаємо сукупний показник якості цієї золотої монети, що становитиме 4096. Номінальне визначення якості монети згідно з загальною класифікацією (табл. 3) буде: **«пам'ятка культури національного рівня значення першого порядку»**.

Прогнозна вартість «С» проданої з аукціону золотої монети, становитиме:  $S = 100 \cdot 4096 = 409\,600$  гривень, а ринкова ціна, яка стала результатом проведення торгів, була встановленою на рівні 435 231 гривень. Зауважимо також, що у торгах взяли участь 116 потенційних покупців.

**Висновки.** Проведені дослідження дають підстави зробити висновки, сутність яких полягає в наступному.

1. Товарознавча оцінка якості антикварних монет є сукупною оцінкою їх історичної цінності та як об'єктів колекціонування і має практичне значення для здійснення незалежних експертиз.



2. Прогнозовані показники вартості, описані вище, слід розглядати як несуперечно вмотивовані й придатні для здійснення операцій незалежної оцінки. Ринкові показники вартості не можуть бути предметом прогнозування за дефініцією.

3. Прогнозування вартості нумізматичних пам'яток має значення для формування стартових показників та попередження можливості продажу монет за ціною, яка є нижчою матеріалу, з якого вони виготовлені.

4. Експертні роботи з визначення якості та прогнозування вартості антикварних монет повинні починатися з обліку кількості позитивної інформації про них, що дозволить віднести досліджувані об'єкти до певної товарознавчої групи – «традиційних пам'яток нумізматики», «цінних пам'яток нумізматики», «унікальних пам'яток нумізматики».

5. Облік корисної інформації для перших двох вище поіменованих товарознавчих груп доцільно здійснювати за допомогою скороченого протоколу оцінки якості монет. Для особливо цінних монет є сенс застосовувати повний протокол оцінки.

6. Особливо несподіваним висновком, отриманим у результаті проведених досліджень є те, що прогнозована вартість нумізматичних пам'яток є трансцендентною по відношенню до матеріалу, з якого монети виготовлені, тобто до вартості бронзи, срібла й золота, а також до ваги монети.

7. Для оцінки впливу ажіотажного попиту на окремі взірці монет, подеколи доцільно використовувати протокол оцінки ступеню їх ліквідності, який був описаний раніше [6].

#### Список використаних джерел

1. *Гроші, банки та кредит: у схемах і коментарях* : навч. посіб. для студ. екон. спец. вищ. навч. закл. / [Б. Л. Луців, Т. С. Смовженко, Г. Г. Голуб та ін.]. – 2-ге вид., випр. – К. : Л., 1999. – 156 с.
2. *Гуцал А. Ф.* Давні календарі, міри, монети та письмо : навч. посіб. / А. Ф. Гуцал. – Кам'янець-Поділ. : Оіум, 2006. – 207 с.
3. *Елисеева И. И.* Группировка, корреляция, распознавание образов / И. И. Елисеева, В. О. Рукавишников. – М. : Статистика, 1977. – 144 с.
4. *Про оцінку майна, майнових прав та професійну оціночну діяльність в Україні* [Електронний ресурс] : Закон України від 12 липня 2001 року № 2658-III. – Режим доступу : <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2658-14>.
5. *Індутний В. В.* Застосування функції розподілу Лоренца в товарознавстві / В. В. Індутний // *Товари і ринки*. – 2015. – № 2 (20). – С. 168–178.
6. *Індутний В. В.* Оцінка пам'яток культури / В. В. Індутний. – К. : СПД Моляр С.В., 2009. – 537 с.
7. *Індутний В. В.* Ринки культурних цінностей: Порівняльний аналіз / В. В. Індутний // *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*. – 2014. – № 1. – С. 19–27.
8. *Індутний В. В.* Формула Ральфа Хартлі й прогнозування вартості пам'яток культури / В. В. Індутний // *Культура і сучасність: альманах*. – 2014. – № 2. – С. 70–78.
9. *Колодізев О. М.* Гроші і кредит : підручник / О. М. Колодізев, В. Ф. Колесніченко. – К. : Знання, 2010. – 610 с.

#### References

1. Lutsiv, B.L., Smovzhenko, T.S., Holub, H.H. et al. (1999). *Hroshi, banky ta kredyt: u skhemakh i komentariakh* [Money, banks and credit in schemes and comments]. Kyiv, Lviv: Natsionalnyi bank Ukrainy (in Ukrainian).
2. Hutsal, A.F. (2006). *Davni kalendari, miry, monety ta pysmo* [Ancient calendars, measures, coins and letter]. Kamianets- Podilskyi: Oiium (in Ukrainian).
3. Eliseeva, I.I. & Rukavishnikov, V.O. (1977). *Gruppировка, korreliatsiia, raspoznavanie obrazov* [Grouping, correlation, pattern recognition]. Moscow: Statistika (in Russian).
4. *Pro otsinku maina, mainovykh prav ta profesiinu otsinochnu diialnist v Ukraini: Zakon Ukrainy vid 12 lypnia 2001 roku № 2658-III* [On evaluation of property, property rights and professional appraisal activity in Ukraine: Law on July 12, 2001 No. 2658-III]. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2658-14>.

5. Indutnyi, V.V. (2015). Zastosuvannia funktsii rozpodilu Lorentsa v tovaroznavstvi [Application of the Lorentz distribution function in commodity research]. *Tovary i rynky – Goods and markets*, no. 2, pp. 168–178 (in Ukrainian).
6. Indutnyj, V.V. (2009). *Otsinka pamiatok kultury [Evaluation of cultural monuments]*. Kyiv: SPD Moliar S.V. (in Ukrainian).
7. Indutnyi, V. V. (2014). Rynky kulturnykh tsinnosti: Porivnialnyi analiz [Markets of Cultural Values: A Comparative Analysis]. *Visnyk Natsionalnoi akademii kerivnykh kadrov kultury i mystetstv – Bulletin of the National Academy of Cultural and Arts Leaders*, no. 1, pp. 19-27 (in Ukrainian).
8. Indutnyj, V.V. (2014). Formula Ralfa Khartli y prohnozuvannia vartosti pamiatok 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).
9. Kolodiziev, O.M. & Kolesnichenko, V.F. (2010). *Hroshi i kredyt [Money and credit]*. Kyiv: Znannia, 2010 (in Ukrainian).

UDC 339.13.017:671.41

*Volodymyr Indutny, Nina Merezhko, Nina Kaluga*

### COMMODITY ASSESSMENT OF ANTIQUE COINS IN THE MARKET OF UKRAINE

**Urgency of the research.** Antique coins are goods, which have a constant demand and widely represented in the markets of different countries, including the Ukrainian market.

**Target setting.** In order to prevent the possibility of selling antique coins at a price that is lower than the price of material from which they are made of, it is important to have a reasonable method for determining their predictive value.

**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 antiques has its own specifics, so there is an urgent need for methodological approaches to determining the predictive value of antique coins.

**The research objective.** The aim of this work is to study the current prices of antique coins in Ukraine and to design the complex scale for assessment of their quality and the corresponding classification model.

**The statement of basic materials.** The article describes the process of designing the quality scale for assessment of antique coins. 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. Three intervals of cost indicators of antique coins in the Ukrainian market are distinguished and their characteristics are given. Several examples of cost prediction are presented that demonstrate the effectiveness of the proposed methods for solving problems of independent evaluation.

**Conclusions.** According to the research results, the complex scale for assessment of antique coins, which include seven criteria, has been proposed.

**Key words:** antique coins; market analysis; quality; the predictive value; evaluation criteria.

Tabl.: 3. Bibl.: 9.

УДК 339.13.017:671.41

*Владимир Индутный, Нина Мережко, Нина Калуга*

### ТОВАРОВЕДЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АНТИКВАРНЫХ МОНЕТ НА РЫНКЕ УКРАИНЫ

В статье описан процесс проектирования шкалы для оценки качества антикварных монет. В основу шкалы положены представления о количестве позитивной информации о товаре, пропорциональным которой является показатель прогнозируемой стоимости. Выделены три интервала стоимостных показателей антикварных монет на рынке Украины и дана их характеристика. Рассмотрены примеры прогнозирования стоимости, которые демонстрируют эффективность предложенной разработки в задачах независимой стоимостной оценки. На основе результатов исследования предложена комплексная шкала для оценки качества антикварных монет, которая включает семь критериев.

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

Табл.: 3. Библ.: 9.

**Індутний Володимир Васильович** – доктор геолого-мінералогічних наук, доцент, професор кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Індутный Владимир Васильевич** – доктор геолого-минералогических наук, доцент, профессор кафедры товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Кіото, 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 Нина Васильевна** – доктор технических наук, профессор, профессор и заведующий кафедрой товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Кіото, 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

**Калуга Ніна Василівна** – кандидат хімічних наук, доцент кафедри товарознавства та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Калуга Нина Васильевна** – кандидат химических наук, доцент кафедры товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Кіото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Kaluga Nina** – PhD in Chemical Sciences, 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:** knv\_0104@i.ua

УДК 664.66.022.39

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-176-188

Ольга Сиза, Олеся Савченко, Ірина Журок, Марина Дорожнинська

## ПОРОШОК З ВИЧАВКІВ ЯГІД КАЛИНИ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

**Актуальність теми дослідження.** У наш час значного розвитку набуло виробництво борошняних виробів із використанням різноманітних харчових добавок. З цього погляду перспективними є продукти переробки плодів та ягід, що мають у своєму складі цінні біологічно активні речовини: вітаміни, антиоксиданти, вуглеводи, органічні кислоти, пектинові речовини, макро- та мікроелементи тощо. Це дає можливість як збагатити борошняні вироби незамінними харчовими компонентами, так і застосовувати їх для корегування технологічних властивостей сировини.

**Постановка проблеми.** При переробці ягід калини у виробництві соків і вин щорічно накопичуються відходи – вичавки (шкірки та насіння), до складу яких входять цінні біологічно активні речовини. Додавання до складу хлібобулочних виробів порошків з вичавків ягід калини дозволить поліпшити їх харчову цінність і завдяки наявності в порошках речовин-антиоксидантів збільшити термін зберігання. Отже, дослідження можливості використання добавок з продуктів переробки плодів калини в технології хлібобулочних виробів є актуальним питанням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використанню нетрадиційної сировини та харчових добавок у виробництві продуктів харчування присвячено роботи вітчизняних та зарубіжних учених А. М. Дорохович, В. І. Дробот, М. М. Калакури, Л. І. Карнаушенко, І. В. Сирохмана, С. Я. Корячкиної, В. Sullivan та ін. Показано, що перспективними є продукти із застосуванням порошків після висушування овочів та фруктів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Незважаючи на різноманітність існуючих рослинних добавок, вибір призначених для приготування хлібобулочних виробів обмежений. У цьому аспекті перспективним є використання відходів переробки дикорослих ягід калини.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження впливу порошку з вичавків ягід калини (шкірка та насіння) на властивості тіста та якість пшеничного хліба.

**Виклад основного матеріалу.** Для отримання порошку з вичавків ягід калини сировину висушували і подрібнювали до частинок розміром 0,10...0,15 мм. Порошок є однорідною масою жовто-коричневого кольору зі смаком і запахом, властивим вихідній сировині. За органолептичними показниками він є оригінальною смаковою добавкою, а також білковим і вітамінним збагачувачем для отримання продуктів підвищеної біологічної цінності.

Для з'ясування закономірностей дії порошку з вичавків ягід калини на процеси, які відбуваються при виготовленні хліба пшеничного, досліджено вплив цієї добавки на основну сировину для хлібопекарського виробництва – борошно і дріжджі.

Якість хліба оцінювали за методикою проведення лабораторних пробних випічок тіста, що приготовані із борошна, солі, води питної, дріжджів, порошку з вичавків калини безопарним способом. Температура випікання 220 °С, час – 45 хвилин.

Органолептичним способом оцінювали форму хліба, колір і зовнішній вигляд скоринки, смак і запах. Контроль якості готового хліба здійснювали за фізико-хімічними властивостями – вологістю, кислотністю, пористістю.

Добавка порошку з вичавків ягід калини збагачує вироби вітамінами, органічними кислотами, антиоксидантами. Наявність речовин з антиоксидантними властивостями зумовлює уповільнення окисних процесів, що відбуваються під час випікання та зберігання виробів – термін зберігання хліба збільшується у 1,7 разу. Збагачений порошок з вичавків калини хліб характеризується більшим об'ємом і кращою пористістю, запах та смак готових виробів не погіршується і відчувається приємний присмак ягід калини.

Використання порошку з вичавків ягід калини скорочує тривалість визрівання тіста на 25 %, порівняно з безопарним способом без внесення добавок. Внесення порошку сприяє інтенсифікації мікробіологічних, колоїдних, фізико-хімічних процесів, які і забезпечують більш швидке дозрівання тіста.

**Висновки.** Отримані результати обумовлюють перспективність використання порошків з вичавків ягід калини (відходи виробництва соків і вин) при виробництві хлібобулочних виробів. Вони збагачують вироби вітамінами, органічними кислотами, антиоксидантами, скорочують тривалість визрівання тіста на 25 %, порівняно з безопарним способом без внесення добавок.

**Ключові слова:** порошок з вичавків ягід калини; хліб пшеничний; фізико-хімічні і органолептичні показники.

Табл.: 3. Рис.: 3. Бібл.: 23.

**Актуальність теми дослідження.** Хлібобулочні вироби традиційно користуються великим попитом у населення України. У наш час значного розвитку набуло виробництво борошняних виробів із використанням різноманітних харчових добавок. Вони застосовуються з метою поліпшення якості виробів, збільшення їх харчової цінності та термінів зберігання, надання їм певних функціональних властивостей тощо [1; 2]. Особливого значення набуває використання порошкоподібних добавок, що одержують з природної рослинної сировини (фрукти, овочі). При сушінні з рослинних об'єктів видаляється волога, концентрація речовин у клітинному соку й осмотичний тиск збільшуються, що перешкоджає розвитку мікроорганізмів.

Провідну роль у формуванні структурно-механічних характеристик тіста відіграють технологічні властивості пшеничного борошна, які, у свою чергу, є функцією стану його білково-протеїназного та вуглеводно-амілазного комплексів. Для отримання виробів високої якості тісто повинно мати певні реологічні характеристики. З цього погляду перспективними є продукти переробки плодів та ягід, що мають у своєму складі цінні біологічно активні речовини: вітаміни, антиоксиданти, вуглеводи, органічні кислоти, пектинові речовини, макро- та мікроелементи тощо. Це дає можливість як збагатити борошняні вироби незамінними харчовими компонентами, так і застосовувати їх для корегування технологічних властивостей сировини.

У зв'язку з цим використання продуктів переробки рослинної сировини (фруктових та овочевих порошків) у виробництві харчових продуктів є актуальним завданням сьогодення.

**Постановка проблеми.** Дефіцит вітамінів, мікроелементів та інших біологічно активних речовин у продуктах харчування привів до ослаблення функціональної активності органів і систем людини, до виснаження компенсаторних й адаптаційних механізмів, до зниження захисних сил організму. Однією з причин збіднення структурної інформації природних продуктів є їх переробка – у великій кількості споживаються вироби з борошна тонкого помелу, полірований рис, рафінований цукор, освітлений сік й інші продукти, збіднілі біологічно активними речовинами. Тому великого значення набувають питання вивчення і залучення у виробництво нових видів сировини зі збільшеним вмістом біологічно активних (захисних) речовин. Перспективним у цьому напрямку є використання вітчизняної рослинної сировини, що має адаптогенну, тонізуючу, кровотворну та інші дії і Р-вітамінний комплекс. До такої сировини відносяться відходи виробництва соків і вин – вичавки (шкірки та насіння) з ягід калини, обліпихи, винограду, які щорічно накопичуються у великих кількостях при переробці. Відомо, що кісточки калини узяті на озброєння сучасною медициною. У серцеподібному насінні закладено велику кількість біологічно активних речовин [3]. Кісточки є джерелом корисних для організму мінеральних речовин, вітамінів (у тому числі вітаміну К), а також цінних незамінних амінокислот. Згідно з останніми дослідженнями, натуральні каротиноїди та аскорбінова кислота (вітамін С), що входять до складу олії з калинових кісточок, захищають організм від онкологічних захворювань, надають могутню антиоксидантну дію і перешкоджають передчасному старінню [4].

Завдяки біологічно активним речовинам, що містяться у нетрадиційній сировині, можна регулювати технологічний процес і створювати продукти з направленими оздоровчими властивостями. Таким чином, додавання до складу хлібобулочних виробів порошків з вичавків ягід калини дозволить поліпшити їхню харчову цінність і завдяки наявності в порошках речовин-антиоксидантів збільшити термін зберігання. Отже, дослідження можливості використання добавок з продуктів переробки плодів калини в технології хлібобулочних виробів є актуальним питанням сьогодення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Використанню нетрадиційної сировини та харчових добавок у виробництві продуктів харчування присвячено роботи вітчизняних та зарубіжних учених: А. М. Дорохович, В. І. Дробот, М. М. Калакури, Л. І. Карнаушенко, І. В. Сирохмана, С. Я. Корячкиної, В. Sullivan та ін. Показано, що перспективними є продукти з пророщених бобових (гороху, квасолі), насіння соняшнику, плодів та овочеві порошки, водорості, солодові екстракти, гарбузове пюре, пюре цибулі, топінамбура, порошок кропиви, горобини звичайної, чорниці, шипшини, цикорію, кави, горобини чорноплідної, глоду, плодів калини та ін. [1; 2; 5–14].

Уперше дані щодо вивчення хімічного складу калини були опубліковані у 1844 р. Н. Kremer, який повідомив про виділення ним із кори калини сливистої гіркої речовини вібурніну. Пізніше подібний глікозид був виділений Н. van Allen у 1880 р.,

T. Shenmann у 1897 р. і E. Cowmann Donijov у 1902 р. із листків *Viburnum tinus* та кори *Viburnum rufidulum* Raf., *Viburnum alnifolium* Marsh. і *Viburnum trilobum* L. [15; 16]. У 1976 році Г. Вигоров спільно зі співавторами повідомили про наявність вібурніну у плодах *Viburnum opulus* L. При гідролізі виділеного глікозиду отримували глюкозу та маннозу, а також мурашину, оцтову, валеріанову та ізовалеріанову кислоти. Встановлено також [4], що плоди калини є джерелом вітаміну К, вітаміну С та каротиноїдів. Аскорбінова кислота, або вітамін С, сильний антиоксидант і хелатуючий агент.

Спеціалісти Івано-Франківської асоціації «Карпатхарчпром» на основі калини розробили рецептури і технології на окремі продукти і напівфабрикати лікувально-профілактичного призначення. Учені Івано-Франківського національного медичного університету на основі калини розробляють нові високоефективні лікарські засоби. Кафедра економічної теорії ім. академіка З. О. Маніва Івано-Франківського університету права ім. Короля Данила Галицького спільно з фахівцями харчової промисловості і лісового господарства дослідили перспективи використання дикорослих плодів, ягід і грибів в умовах Прикарпаття для виробництва продукції лікувально-профілактичного призначення [8].

Калина є високоефективною сировиною для перероблення і має широкий спектр використання у харчуванні [9]. Наприклад, у різного роду підливах, приправах, як компонент у лікєро-горілчаному виробництві, популярним є сік калини з медом. Її використовують у народній медицині. Так, відвар з калини народна медицина століттями використовує як ефективний засіб для лікування початкової стадії гіпертонії. Настій і відвар ягід допомагає у разі язви шлунка і дванадцятипалої кишки. Калиновий сік з медом використовують для лікування захворювань печінки, шлунка, а також для лікування окремих видів ракових захворювань.

Після переробки плодів калини на протерту масу залишається 30...35 % вичавків (шкірка, насіння). Високий вміст катехинів у порошку, отриманому з вичавків калини, дозволяє використовувати його як стабілізатор основного пігменту буряка при отриманні червоного харчового барвника. Смак солодкувато терпкий зі слабкою гіркуватістю. Барвник має стійкість при виробленні з ним кондитерських виробів при будь-якому значенні рН [17]. Олія калини є фракцією нейтральних ліпідів, містить 0,015 % вітаміну Е, 0,005 % каротиноїдів, з яких 0,002 % –  $\beta$ -каротин [4; 18; 19].

На сьогодні існують розробки рецептур бісквітів з використанням рослинних порошків [11; 20], насіння соняшнику і льону, морквяного і яблучного пюре, соків, сиропів. За рахунок вмісту в готових бісквітах порошків плодових ягід їх хімічний склад збагачується найважливішими мікронутрієнтами – вітамінами (С, В1, В2, РР, А, Е), бета-каротином, мінеральними речовинами (К, Na, Ca, Mg, P, Fe), незамінними амінокислотами, харчовими волокнами і поліфенольними сполуками.

Перевага застосування порошків над іншими напівфабрикатами (концентровані соки, екстракти, пюре, сиропи) полягає в тому, що вони зручні у транспортуванні, добре зберігаються, містять більше поживних речовин на одиницю ваги. Порошки з ягід калини, гілочок, листя, кори, коріння можна використовувати у виготовленні різних настоянок, напоїв, чаїв, їх можна купажувати з іншими порошками і використовувати як компоненти для виробництва лікарських засобів, харчових добавок, а також наповнювачів для виробництва продукції лікувально-профілактичного призначення [10]. Отже, дослідження можливості використання порошку з вичавків ягід калини в технології хлібобулочних виробів є актуальним питанням сьогодення.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз наукової літератури доводить актуальність і перспективність використання функціональних добавок рослинного походження як при комплексній переробці лікарської рослинної сировини, так і використання відходів харчової промисловості при впровадженні у харчовій

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

і фармацевтичній промисловості. Разом з тим значна кількість відходів таких галузей харчової промисловості, як сокоекстракційна, виноробна, кондитерська найчастіше утилізуються, незважаючи на очевидну вигоду їх переробки.

Крім того, незважаючи на різноманітність існуючих рослинних добавок, вибір призначених для приготування хлібобулочних виробів обмежений. У цьому аспекті перспективним є використання відходів переробки дикорослих ягід калини, що широко розповсюджені у Чернігівській області, мають цінний вітамінний та мінеральний склад, антиоксидантні властивості і практично не використовуються в технології подібних виробів.

**Мета статті.** Метою роботи є дослідження впливу порошку з вичавків ягід калини (шкірка та насіння) на властивості тіста та якість пшеничного хліба.

**Викладення основного матеріалу.** Для отримання порошку з вичавків ягід калини сировину висушували і подрібнювали до частинок розміром 0,10...0,15 мм. Порошок є однорідною масою жовто-коричневого кольору зі смаком і запахом, властивим вихідній сировині (табл. 1). За органолептичними показниками він є оригінальною смаковою добавкою, а також білковим і вітамінним збагачувачем для отримання продуктів підвищеної біологічної цінності [18; 19].

Таблиця 1

*Органолептичні і фізико-хімічні показники порошку вичавків калини*

Найменування показників	Характеристика
Зовнішній вигляд	Дрібнодисперсний сухий порошок
Колір	Світло-цегляний
Смак і запах	Відповідний цьому продукту, без сторонніх запахів
Масова частка води, % ГОСТ 24027.2-80	8,0±2,0
Значення рН	2,7±0,2
Вміст дубильних речовин, % ГОСТ 24027.2-80	6,42
Зольність, ГОСТ 24027.2-80	2,78
Вміст вітаміну С мг/100 г ГОСТ 24556-89	30...60

Масова частка води знаходиться у допустимих межах, згідно з нормативною документацією на харчові порошкові добавки.

Високий вміст дубильних речовин є бажаним показником, оскільки надає протизапальні, протимікробні властивості і дозволить при подальшому використанні порошку отримати продукт оздоровчого призначення, а також сприяє інактивації амілаз, що, у свою чергу, призводить до меншого розрідження тіста під час бродіння.

Низький рівень рН дає змогу гальмувати дію  $\alpha$ -амілази при випіканні хліба, скорочувати період утворення під її впливом декстринів, що запобігає підвищенню липкості.

Вміст вітаміну С у складі порошоків (досліджували йодометричним методом шляхом прямого титрування робочим розчином – 0,005 н  $I_2$ ), залежить від режиму сушіння. Так, після сушіння вичавків ягід калини за температури 60°C вміст вітаміну С становить 30 мг/100 г, а після висушування за температури повітря – 60 мг/100 г.

Компонентний склад летких речовин рослинного екстракту з вичавків ягід калини вивчали методом хромато-мас-спектрометрії на газовому хроматографі «FINIGANFOCUS» з мас-селективним детектором фірми TermoElectronics. Газ-носіє – гелій, потік газу-носія в колонці 1,2 мл/хв. Іонізація електронним ударом з енергією електронів 70 еВ. Ідентифікували компоненти, зіставляючи час утримування піків на хроматограмі і повних мас-спектрів окремих компонентів з відповідними результатами для чистих сполук у бібліотеці мас-спектрів «NIST-5» та також з використанням лінійних індексів утримування. Встановлення кількісного вмісту екстрагованих сполук проводили газовим хромато-мас-спектральним методом, при кількісному визначенні за зовнішнім стандартом.

Згідно з отриманими даними хромато-мас-спектрального аналізу у складі водно-етанольного екстракту порошку вичавків ягід калини міститься 37 індивідуальних речовин (рис. 1). Всі вони є відомими сполуками, які ідентифіковано за мас-спектрами і лінійними індексами утримання.

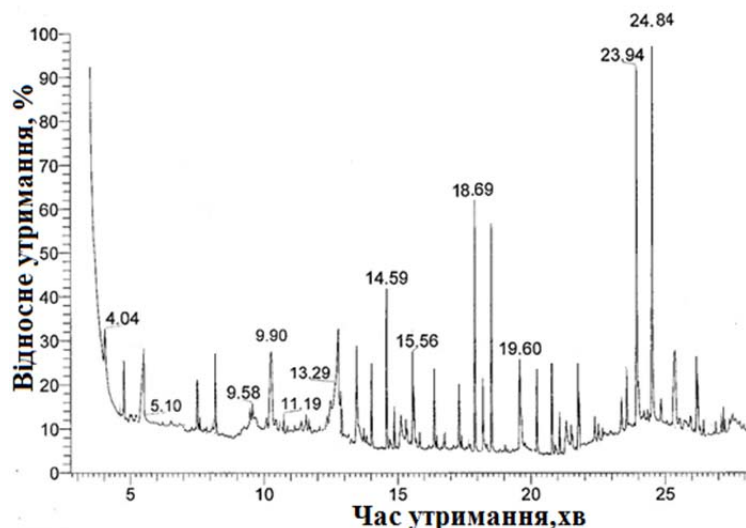


Рис. 1. Хроматограма водно-спиртового екстракту з вичавків ягід калини

Основними компонентами є (%):

- *біофлавоноїди* (мають високу антиоксидантну, протизапальну, кардио- и радіопротекторну дію та ін.) – кемпферол (7,0), кверцетин (6,1), міріцетин (5,3), кверцетин-3-моноглюкозид (7,2), кверцетин-3-моноглюкуронозид (3,4); катехін (2,6), епікатехін (2,0);

- *тритерпени* (мають протизапальну, антиоксидантну, протипухлинну, антивірусну, гепатопротекторну, жовчогінну дію, підвищують захисні сили організму, використовують для профілактики онкозахворювань) –  $\alpha$ -каріофілен (1,2), линалоол (2,1), нерол (5,1), бетулін (2,2),  $\alpha$ -терпінеол (1,1), борнеол (1,0), карвакрол (3,0), гераніол (8,1);

- *насичені, ненасичені жирні та ароматичні кислоти* – галова (3,3), октадеканова (4,2), лінолева (4,0), гексадеканова (5,3), (9Z)-октадеценева (6,0), елагова (2,4), 1,2-бензолдикарбонова (0,1);

- *альдегіди* – бензойний (2,2), бузковий (3,0), коричний (3,5), Е-цитраль (1,3), гексаль (0,3);

- *спирти* – гексан-2-ол (1,0), фенілетиловий (1,3),  $\alpha$ -терпеніол (1,1), бензиловий (0,2), етилбутаноат (0,2), (Z)-2-гексен-1-ол (0,1);

- *природний фітоалексин* – ресвератрол (1,4) – має сильну антиоксидантну активність.

Таким чином, спиртовий екстракт містить широкий ряд органічних сполук, більшість яких має високі антиоксидантні, протимікробні та протизапальні властивості і є перспективними для створення різних видів харчової продукції з високою біологічною активністю.

Для з'ясування закономірностей дії порошку з вичавків ягід калини на процеси, які відбуваються при виготовленні хліба пшеничного, досліджено вплив цієї добавки на основну сировину для хлібопекарського виробництва – борошно і дріжджі. Для експерименту використовували борошно з такими показниками якості: вологість – 14,5 %, кислотність – 3,0 град, зольність – 0,52 %, вміст сирової клейковини – 26,4 %. Порошок калини додавали в концентрації (%) – 2, 4, 6 від маси борошна. Як контроль використовували зразок тіста без добавок. Визначали вологість, кислотність, підйомну силу та газоутримувальну здатність тіста (табл. 2).



Таблиця 2

*Результати дослідження якості тіста*

Показники	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Дозування добавки, %	–	2	4	6
Вологість тіста, %	43,5	43,5	43,5	43,5
Температура початкова, °C	26,5	26,5	26,5	26,5
Температура кінцева, °C	28	28	28	28
Кислотність початкова, град	2,1	2,2	2,4	2,7
Кислотність кінцева, град	2,5	2,5	2,7	2,9
Підйомна сила тіста, с	300	105	110	120
Питомий об'єм тіста, м <sup>3</sup> /кг	3,1	3,3	3,3	3,1
<b>Органолептичні характеристики тіста</b>				
Колір	Світлий	Жовтуватий відтінок	Жовтий	Сіро-жовтуватий
Смак	Властивий цьому виробу	Ледь помітний присмак ягід калини	Більш виражений присмак ягід калини	Добре виражений присмак ягід калини
Запах	Без стороннього запаху	Із незначним запахом добавки	Більш виражений запах	Виражений запах ягід калин
Консистенція	Однорідна	Однорідна	Однорідна	Однорідна
<b>Параметри бродіння тіста:</b>				
Тривалість, хв	130	100	100	120
Температура, °C	28	28	28	28
<b>Параметри вистоявання тістової заготовки:</b>				
Тривалість, хв	35	30	30	30
Температура, °C	28	28	28	28

Отримані результати дозволяють зробити висновок, що додавання порошку з вичавків ягід калини, у порівнянні з контрольним зразком, позитивно впливає на основні характеристики тіста, а саме:

- початкова кислотність тіста збільшується, відбувається гальмування дії амілази при випіканні хліба, що попереджує утворення низькомолекулярні декстринів і запобігає підвищенню липкості м'якушки хліба;

- кінцева кислотність тіста збільшується через наявність продуктів, які мають кислу реакцію – переважно за рахунок утворення і накопичення ряду кислот, таких як молочна, оцтова, лимонна та інші органічні кислоти. Основну роль у цьому відіграють молочнокислі бактерії, частина яких міститься у борошні і дріжджах. Оскільки порошок з вичавків калини має рівень рН 2,7, то зі збільшенням його дозування відбувається підкислення тіста. Отже, порошок з вичавків ягід калини стимулює утворення і накопичення кислот, які позитивно впливають на інтенсивність розмноження дріжджових клітин – це дає змогу значно скоротити термін бродіння тіста;

- підйомна сила тіста збільшується, тобто порошок стимулює розмноження дріжджових клітин, що дозволяє скоротити термін бродіння тіста. Оптимальне значення дозування порошку становить 2...4 %.

На якість хліба, його об'єм, пористість значною мірою впливає еластичність клейковини, здатність її клейковинного каркаса утримувати вуглекислий газ, що виділяється під час бродіння – у результаті виробу виходять пухкі, гарного об'єму і правильної форми. Показником, що характеризує здатність тіста утримувати CO<sub>2</sub>, може бути збільшення об'єму тіста в процесі бродіння (рис. 2).

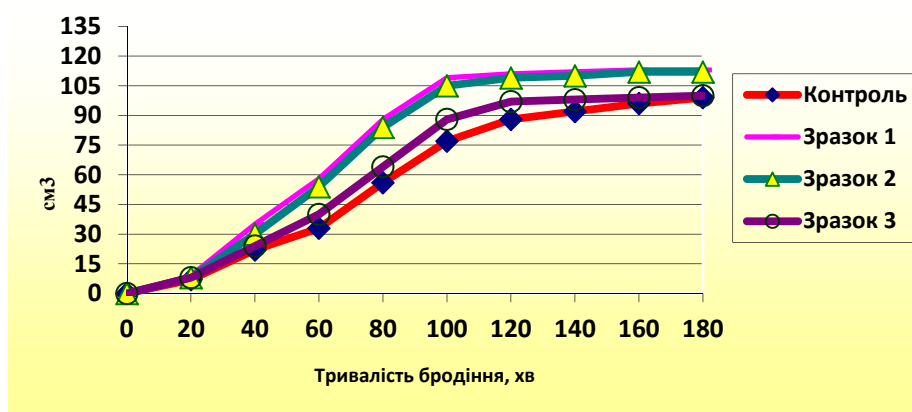


Рис. 2. Графік залежності зміни об'єму тіста у циліндрі від тривалості бродіння

Досліди показали, що за вмістом 2...4 % порошку з вичавків ягід калини питомий об'єм тіста збільшується внаслідок інтенсифікації бродіння, це супроводжується збільшеним виділення  $\text{CO}_2$ . Додавання більшої кількості порошку (до 6 %) призводить до зменшення газотримувальної здатності.

Ферментативну активність дріжджів оцінювали за зимазною та мальтазною активністю за допомогою мікрогазометра Єлецького. На рис. 3 наведено порівняльні дані з порошком з вичавків обліпихи [21].

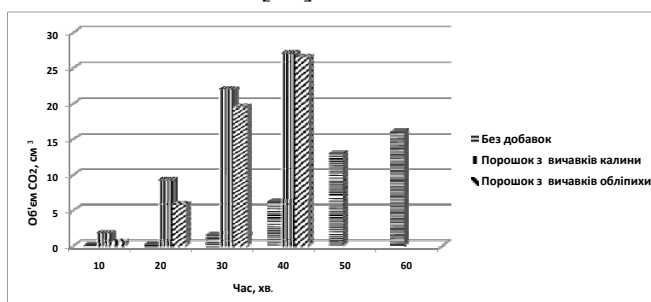


Рис. 3. Результати зимазної активності дріжджів при додаванні порошоків з вичавків калини та обліпихи

Дріжджі вважаються якісними, якщо їх зимазна активність не перевищує 60 хв, мальтазна – 100 хв. Без досліджуваних добавок зимазна активність дріжджів становить 48 хв, тоді як у присутності порошку з вичавків калини – 22 хвилини, а обліпихи – 26 хв. Тобто зимазна активність зростає у 1,8...2,2 разу, що дозволить скоротити технологічний процес виробництва хліба. За 40 хвилин об'єм виділеного вуглекислого газу становить (см³): без добавок – 6,2; з порошком з вичавків калини – 27; з порошком з вичавків обліпихи – 26,5.

Якість хліба визначали за методикою проведення лабораторних пробних випічок тіста [22; 23], що приготувані із борошна, солі, води питної, дріжджів, порошку з вичавків калини безопарним способом згідно з ГОСТ 27669-88. Температура випікання  $220^{\circ}\text{C}$ , час – 45 хвилин.

Органолептичним способом оцінювали форму хліба, колір і зовнішній вигляд скоринки, смак і запах за методикою згідно з ГОСТ 27669-88. Контроль якості хліба здійснювали за фізико-хімічними властивостями – вологістю (за ГОСТ 21094-75), кислотністю (прискореним методом ГОСТ 5670-96), пористістю (за ГОСТ 5669-96). Кри-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

хкуватість та кількість води, яку поглинає м'якушка, визначали за методикою [22, с. 181]. Зведені показники якості готових виробів представлено в табл. 3.

Таблиця 3

*Показники якості готових виробів хліба пшеничного*

Показники	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Дозування добавки, %	–	2	4	6
Упікання, %	13,42	13,37	13,23	13,18
Усихання, %	0,54	0,4	0,27	0,13
Вологість м'якушки, %	42,4	43,0	43,2	43,4
Кислотність м'якушки, град	1,3	1,5	1,8	2,1
Пористість м'якушки, %	73,9	75,8	75,1	74,7
Показник кришкуватості хліба, %	24	20	17,3	14,8
Кількість води, яку поглинає м'якушка хліба, %	291,6	285,0	297,3	310,2
<b>Органолептичні показники</b>				
Колір і стан поверхні	Гладенька, однорідні пухирці, без підривів	Гладенька, однорідні пухирці, без підривів	Гладенька, однорідні пухирці, без підривів	Гладенька, однорідні пухирці, без підривів
Колір і стан м'якушки	Світлий, пориста	Із сіруватим відтінком, пориста	Сіруватий, добре пориста	Сіруватий, добре пориста
Смак	Властивий цьому виробу	Ледь помітний присмак калини	Більш виражений присмак калини	Добре виражений присмак калини
Запах	Без стороннього запаху	Із незначним запахом добавки	Більш виражений запах добавки	Добре виражений запах добавки

Результати досліджень показали, що вологість пшеничного хліба зростає від 0,6 до 1,0 % зі збільшенням дозування порошку з вичавків калини. Це можна пояснити значним вмістом у ягодах калини пектинових речовин, які здатні зв'язувати більшу кількість води і перешкоджати її випаровуванню. Кількість води, яку поглинає м'якушка хліба, в усіх досліджених зразках зростає порівняно з контролем. Це може бути пов'язано з наявністю електролітів, що містяться у клітинах порошку і потрапляють у тісто. Вони збільшують гідратацію молекул білків і осмотичний тиск у системі, що зміцнює зв'язок з капілярною водою та сприяє стабілізації тіста. Внаслідок цього збільшується еластичність м'якушки хліба, у процесі зберігання м'якушка здатна поглинати більшу кількість води. Це дозволить збільшити термін зберігання готових виробів.

При додаванні у тісто плодкових порошоків підвищується кислотність готових виробів, але вона знаходиться в межах вимог до виробів із пшеничного борошна вищого сорту. Підвищення кислотності дозволяє подовжити термін зберігання хліба і призупинити розвиток різної хвороботворної мікрофлори, наприклад, картопляної палички.

У процесі випікання із хліба видаляється волога, що обумовлює втрату маси виробу, яка характеризується упіканням. Упікання – важливий технологічний показник, що визначає вихід готових виробів. Додавання порошку калини сприяє зниженню величини упікання на 0,05...0,24 %. Це, очевидно, пов'язано з властивістю порошку утримувати додаткову вологу в продукті. Такі складові порошку, як пектин, клітковина мають більш високу енергію зв'язку води, ніж крохмаль борошна. Отже, за рахунок додавання порошку калини в різних концентраціях до хліба із пшеничного борошна вищого гатунку уповільнюється процес вологовіддачі і це забезпечує зменшення упікання виробів.

Аналізуючи якість готових виробів, особливу увагу приділено пористості виробів, яка впливає на органолептичні, структурно-механічні та технологічні показники якості хліба. Показник загальної пористості ми розглядали як кількісну характеристику пишності ви-

робів, оскільки збільшення цього показника свідчить про те, що зростає об'єм виробів і знижується їх твердість. При додаванні 2 % плодового порошку калини пористість готового хліба підвищується на 1,9 %, зі збільшенням дозування порошку – пористість дещо знижується. Це можна пояснити більшою дисперсією плодового порошку, ніж пшеничного борошна. Мінеральні речовини, вітаміни і кислоти, що містяться в калині, стимулюють роботу дріжджових клітин розщеплювати цукор на спирт і вуглекислий газ, який розпушує тісто, роблячи його пористим. Чим вище пористість виробів, тим довше вони зберігають свіжість і краще засвоюються організмом. З огляду на отримані дані, бажаним дозуванням порошку калини має бути 2 % до маси борошна.

Кришковатість характеризує свіжість хліба або ступінь його черствіння. Кришковатість м'якушки зменшується при додаванні порошку з вичавків калини в порівнянні з контрольним зразком. Здатність калини знижувати кришковатість хліба може бути пов'язана з обволіканням частково клейстеризованих зерен крохмалю і сповільненням їх ущільнення внаслідок кристалізації амілози та амілопектину під час зберігання.

Крім фізико-хімічних показників якості, важливими споживчими властивостями продукту є органолептичні. Дослідження органолептичних показників якості свідчить про те, що хліб з різними концентраціями добавки відрізнялися від контрольного зразка за станом скоринки, зокрема при збільшенні додавання плодового порошку до 6 % до маси борошна вона стає шорсткуватою. За результатами дегустації встановлено, що запах та смак готових виробів не погіршується і відчувається приємний присмак порошку калини. У разі збільшення дозування до 6 % присмак цього порошку стає більш вираженим. Хлібні вироби мають більш рівномірну, тонкостінну, еластичну м'якушку, порівняно з контрольним зразком.

Строки зберігання хліба обчислюються з часу виходу його з печі. Проведено порівняльні дослідження контрольного і дослідного зразків до появи перших ознак псування при зберіганні у харчовій плівці за температури 22...24 °С. Термін зберігання хліба пшеничного (контрольний зразок) – 90 годин, хліба з добавкою порошку з вичавків ягід калини (2 %) – 153 год. Після цього з'являються ознаки псування – запах, цвіль. Таким чином, термін зберігання хліба збільшується у 1,7 разу при додаванні порошку з вичавків ягід калини до рецептури хліба пшеничного.

**Висновки і пропозиції.** Отримані результати обумовлюють перспективність використання порошків з вичавків ягід калини (відходи виробництва соків і вин) при виробництві хлібобулочних виробів. Вони збагачують вироби вітамінами, органічними кислотами, антиоксидантами. Наявність речовин з антиоксидантними властивостями зумовлює уповільнення окисних процесів, що відбуваються під час випікання та зберігання виробів – термін зберігання хліба збільшується у 1,7 разів. Збагачений порошком з вичавків калини хліб характеризується більшим об'ємом і кращою пористістю, запах та смак готових виробів не погіршується і відчувається приємний присмак ягід калини.

Використання порошку з вичавків ягід калини скорочує тривалість визрівання тіста на 25 %, порівняно з безопарним способом без внесення добавок. Внесення порошку сприяє інтенсифікації мікробіологічних, колоїдних, фізико-хімічних процесів, які і забезпечують більш швидке дозрівання тіста.

#### Список використаних джерел

1. Дробот В. Поговоримо ще раз про харчові добавки та їх функціональну роль в технологічному процесі / В. Дробот // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2011. – № 5. – С. 8–10.
2. Дробот В. И. Использование нетрадиционного сырья в хлебопекарной промышленности / В. И. Дробот. – К. : Урожай, 1988. – 152 с.
3. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник / відп. ред. А. М. Гродзінський. – К. : Видавництво «Українська енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. – 544 с.
4. Солодовниченко Н. М. Лікарська рослинна сировина та фітопрепарати : навч. посіб. з фармакогнозії з основами біохімії лікар. рослин для студ. вищих фармацев. навч. закладів III-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

IV рівнів акред. / Н. М. Солодовниченко, М. С. Журавльов, В. М. Ковальов. – 2-ге вид. – Х. : Вид-во НФаУ; МТК-книга, 2003. – 408 с.

5. *Крючков В. А.* Использование выжимок плодов и ягод для получения продуктов, обогащенных пектином / В. А. Крючков, Г. Н. Новоселова, Н. В. Марина // Нетрадиционное растениеводство. Экология и здоровье : материалы X междунар. симпозиума. – Симферополь, 2001. – С. 657.

6. *Дробот В.* У хліба з гарбузовим порошком більший об'єм і така ж пористість / В. Дробот, Н. Суха // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2008. – № 7. – С. 6–7.

7. *Влияние* продуктов переработки дикорастущих плодов на качество хлебо-булочных изделий / [А. С. Джабоева, Л. Г. Шалова, А. С. Кабалоева, З. С. Думанишева] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 1. – С. 43–44.

8. *Касіянчук В. Д.* Перспективи використання дикорослих плодів, ягід і грибів в умовах Прикарпаття для виготовлення продукції лікувально-профілактичного призначення / В. Д. Касіянчук, М. М. Ковач, М. В. Касіянчук // Науковий вісник НЛТУ України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України. – 2013. – Вип. 23.7. – С. 152–155.

9. *Домарецький В. А.* Технологія екстрактів, концентратів та напоїв із рослинної сировини : підручник / В. А. Домарецький, В. Л. Прибильський, М. Г. Михайлов. – К. : Вінниця: Нова Книга, 2005. – 408 с.

10. *Маковская И. С.* Анализ и перспективы использования калины в производстве плодоягодных сиропов функционального назначения / И. С. Маковская, С. В. Новоселов // Ползуновский альманах. – 2011. – № 4/2. – С. 137–145.

11. *Пащенко В. Л.* Плоды боярышника – перспективный ингредиент в технологии производства бисквита / В. Л. Пащенко, Т. Ф. Ильина, Т. И. Ермоленко // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2010. – № 3. – С. 56–57.

12. *Полякова А. В.* Вплив рослинних добавок на якість клейковинного комплексу пшеничного борошна / А. В. Полякова, О. О. Шубін // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. – 2007. – Вип. 58. – С. 250–254.

13. *Вплив* цикорію, кави, лимонного соку на ферментативну активність дріжджів та якість пшеничного хліба / О. Савченко, О. Сиза, Ю. Зінченко, Т. Деркач, М. Михайлова // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 1 (3). – С. 228–233.

14. *Румянцева Г. Н.* Влияние микробных ферментов на процесс получения пищевых волокон из растительного сырья / Г. Н. Румянцева, С. В. Макурина // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 8. – С. 48.

15. *Ширко Т. С.* Биохимия и качество плодов / Т. С. Ширко, И. В. Ярошевич. – М. : Минск: Наука и техника, 1991. – 294 с.

16. *Изучение* липидного комплекса жомы плодов калины обыкновенной / И. С. Кузьмич, О. В. Нестерова, В. И. Деменко, В. А. Попков, С. В. Кондрашев // Фармацевтическая наука и практика в новых социальных условиях : сборник трудов НИИФ. – М., 1997. – Т. 37. – С. 187–192.

17. *А.с. 1231860 СССР.* Способ получения пищевого красителя из свеклы / В.А. Крючков, Т.Н. Генцелева, Г.Н. Новоселова и др. (СССР); заявл. 03.07.84.

18. *Турчина Т.* Фізико-хімічний склад і структуруюча здатність рослинних матеріалів розпилювального сушіння / Т. Турчина // Харчова і переробна промисловість. – 2008. – № 5. – С. 17–19.

19. *Блажей А.* Фенольные соединения растительного происхождения / А. Блажей, Л. Шутый. – М. : Мир, 1977. – 239 с.

20. *Патент 117433 (UA).* Склад кексу «Яблучний» / В. М. Челябієва, О. І. Сиза, О. М. Савченко, О. Ю. Семенюк ; власник Чернігівський національний технологічний університет. – № u201700474 ; заявл. 18.01.2017 ; опубл. 26.06.2017, Бюл. № 12.

21. *Функціонально-технологічні властивості* порошоків з вичавків плодів культур у харчових технологіях / О. І. Сиза, О. М. Савченко, Я. І. Гулова, Ю. С. Яцко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, Чернігів, 26-29 квітня 2016 р. – Чернігів : ЧНТУ, 2016. – С. 228–230.

22. *Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництва* : навчальний посібник / за ред. В. І. Дробот. – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 341 с.

23. *ДСТУ 7517:2014* «Хліб із пшеничного борошна. Загальні технічні умови».

## References

1. Drobot, V. (2011). Pohovorymo shche raz pro kharchovi dobavky ta ikh funktsionalnu rol v tekhnolohichnomu protsesi [Let's talk again about nutritional supplements and their functional role in

the technological process]. *Khlibopekarska i kondyterska promyslovist Ukrainy - Bakery and confectionery industry of Ukraine*, issue 5. pp. 8-10 (in Ukrainian).

2. Drobot, V.I. (1988). *Ispolzovanie netraditsionnogo syria v khlebopekarnoi promyshlennosti [Use of non-traditional raw materials in the baking industry]*. Kyiv: Urozhay (in Russian).

3. Hrodzinskyi, A.M. (1992). *Likarski roslyny: Entsyklopedychnyi dovidnyk [Medicinal plants: Encyclopedic reference book]*. Kyiv: Vydavnytstvo „Ukrainska entsyklopediia” im. M.P. Bazhana, Ukrainskyi vyrobnycho-komertsiiyni tsentr „Olimp” (in Ukrainian).

4. Solodovnychenko N.M. (2003). *Likarska roslynna syrovyna ta fitopreparaty [Medicinal herbal and phytopreparations]*. Kharkiv: Vyd-vo NFaU; MTK-knyha (in Ukrainian).

5. Kryuchkov, V.A. & Novoselova, G.N., Marina, N.V. (2001). *Ispolzovanie vyzhimok plodov i iagod dlia poluchenii produktov, obogashchennykh pektinom [Use of fruit and berries for obtaining products enriched with pectin]*. *Netraditsionnoe rastenievodstvo. Ekologiya i zdorove: materialy X mezhdunar. simpoziuma – Unconventional plant growing. Ecology and health: materials X international. symposium (Simferopol, 2001)*. Simferopol (in Ukrainian).

6. Drobot V. & Sukha, N. (2008). U khliba z harbuzovym poroshkom bilshyi obiem i taka zh porystist [In bread with pumpkin powder, larger volume and the same porosity]. *Khlibopekarska i kondyterska promyslovist Ukrainy – Bakery and confectionery industry of Ukraine*, issue 7, pp. 6–7 (in Ukrainian).

7. Dzhaboeva A.S., Shalova L.G., Kabaloeva A.S., Dumanisheva Z.S. (2008). *Vliyanie produktov pererabotki dikorastushchikh plodov na kachestvo khlebo-bulochnykh izdeliy [Influence of products of processing of wild-growing fruits on quality of bakery products]*. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria – Storage and processing of agricultural raw materials*, issue 1, pp. 43–44 (in Ukrainian).

8. Kasiianchuk, V.D., Kovach, M.M., Kasiianchuk, M.V. (2013). *Perspektyvy vykorystannia dykorslykh plodiv, yahid i hrybiv v umovakh Prykarpattia dlia vyhotovlennia produktsii likuvalno-profilaktychnoho pryznachennia [Prospects for the use of wild fruits, berries and mushrooms in the conditions of the Precarpathian region for the production of products for treatment and prophylactic purposes]*. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy – Scientific Bulletin of NLTU of Ukraine*, issue 23.7, pp. 152–155 (in Ukrainian).

9. Domaretskyi, V.A., Prybylskyi, V.L., Mykhailov, M.H. (2005). *Tekhnolohiia ekstraktiv, kontsentrativ ta napoiv iz roslynnoi syrovyny [Technology of extracts, concentrates and beverages from plant raw materials]*. Kyiv : Vinnytsia: Nova Knyha (in Ukrainian).

10. Makovskaya, I.S., Novoselov, S.V. (2011). *Analiz i perspektyvy ispolzovaniia kaliny v proizvodstve plodo-iagodnykh siropov funktsionalnogo naznachennia [Analysis and prospects of using kalini in the production of fruit-berry syrups of functional purpose]*. *Polzunovskii almanakh – Polzunovskiy almanakh*, issue 4/2, pp. 137-145 (in Russian).

11. Pashchenko, V.L. & Ilina, T.F., Ermolenko, T.I. (2010). *Plody boiaryshnika – perspektivnyi ingredient v tekhnologii proizvodstva biskvita [The fruits of hawthorn - a promising ingredient in the technology of biscuit production]*. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria – Storage and processing of agricultural raw materials*, issue 3, pp. 56–57 (in Russian).

12. Poliakova, A. V., Shubin, O.O. (2007). *Vplyv roslynnykh dobavok na yakist kleikovynnoho kompleksu pshenychnoho boroshna [Influence of plant additives on the quality of gluten-free complex of wheat flour]*. *Visnyk KhNTUSH im. P. Vasilenka – Herald of KhNTUSG them. P. Vasilenko*, no. 58, pp. 250–254 (in Ukrainian).

13. Savchenko, O., Syza, O., Zinchenko, Yu., Derkach, T., Mykhailova, M. (2016). *Vplyv tsykoriuu, kavy, lymonnoho soku na fermentatyvnu aktyvnist drizhdzhiv ta yakist pshenychnoho khliba [Influence of chicory, coffee, lemon juice on fermentative activity of yeast and quality of wheat bread]*. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 1(3), pp. 228–233 (in Ukrainian).

14. Rumyantseva, G.N., Makurina, S.V. (2007). *Vliianie mikrobykh fermentov na protsess poluchenii pishchevykh volokon iz rastitelnogo syria [Influence of microbial enzymes on the process of obtaining dietary fiber from plant material]*. *Khranenie i pererabotka selkhozsyria – Storage and processing of agricultural raw materials*, no. 8, pp. 48 (in Russian).

15. Shirko, T.S., Yaroshevich, I.V. (1991). *Biokhimiya i kachestvo plodov [Biochemistry and quality of fruit]*. Minsk: Science and technology (in Belarus).

16. Kuzmich I.S., Nesterova O.V., Demenko, V.I., Popkov, V.A., Kondrashev, S.V. (1997). *Izuchenie lipidnogo kompleksa zhoma plodov kaliny obyknovnoyi [Study of the lipid complex of fruit pulp of Kalina ordinary]*. *Farmatsevticheskaia nauka i praktika v novykh sotsialnykh usloviakh:*

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

sbornik trudov NIIF – *Pharmaceutical science and practice in the new social conditions: a collection of works by NIIF*, vol. 37, pp. 187–192 (in Russian).

17. Kryuchkov, V.A., Gentsseleva, T.N., Novoselova, G.N. (ed.) (1984). *Sposob polucheniia pishchevogo krasitelia iz svekly* [Method for obtaining food coloring from beetroot]. A.s. no 1231860. SSSR.

18. Turchyna, T. (2008). Fyzyko-khimichni sklad i strukturuivcha zdattist roslynnykh materialiv rozpyliuvalnoho sushinnia [Physico-chemical composition and structural ability of plant materials of spray drying]. *Kharchova i pererobna promyslovist – Food and processing industry*, no. 5, pp. 17–19 (in Ukrainian).

19. Blazhey, A., Shutyy, L. (1977). *Fenolnye soedeneniia rastitelnogo proiskhozhdeniia* [Phenolic compounds of plant origin]. Moscow: Mir (in Russian).

20. Cheliabieva, V.M., Syza, O.I., Savchenko, O.M., Semeniuk, O.Yu. (2017). *Sklad keksu «Yabluchnyi»* [Composition of Cupcake “Apple”]. Patent UA no 117433.

21. Syza, O.I., Savchenko, O.M., Hulova, Ya.I., Yatsko, Yu.S. (2016). Funktsionalno-tehnologichni vlastyvoli poroshkiv z vychavkiv plodovykh kultur u kharchovykh tekhnolohiiakh [Functional and technological properties of powders from fruit crops in food technologies]. *Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnologichnykh protsesiv ta system: materialy VI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Comprehensive assurance of the quality of technological processes and systems: Materials of the VI international scientific-practical conference* (Chernihiv, 26-29 April 2016). Chernihiv: ChNTU, pp. 228–230 (in Ukrainian).

22. Drobot, V.I. (ed.) (2006). *Laboratornyi praktykum z tekhnolohii khlibopekarskoho ta makaronnoho vyrobnytstv* [Laboratory Workshop on Bakery and Macaroni Technology]. Kyiv: Center for Educational Literature (in Ukrainian).

23. *Khlib iz pshenychnoho boroshna. Zahalni tekhnichni umovy* [Bread of wheat flour. General technical requirements] (2014). DSTU 7517:2014. Kyiv: Derzhstandart Ukraine (in Ukrainian).

UDC 664.66.022.39

Olga Sizaya, Olesya Savchenko, Iryna Zhurok, Maryna Dorozhynska

# POWDER FROM THE SCHROT OF BERRIES OF KALINA IN THE TECHNOLOGY OF PRODUCTION OF WHEAT BREAD

**Urgency of the research.** The work of domestic and foreign scientists is devoted to the use of non-traditional raw materials and food additives in the production of food products. A.M. Dorokhov, V.I. Drobot, M.M. Kalakura, L.I. Kar-naushenko, I.V. Sirohmana, S.Ya. Koryachkin, B. Sullivan, etc. It is shown that products with the use of powders with the drying of vegetables and fruits are promising.

**Target setting.** When processing berries, viburnum in the production of juices and wines annually accumulate waste - squeezes (peels and seeds) that contain valuable biologically active substances. The addition of baking powder to the bakery products from the schrot of berries of Kalina will improve their nutritional value and, due to the presence of antioxidant substances in the powders, to increase the shelf life. Thus, the study of the possibility of using additives from the products of processing fruits of viburnum in the technology of bakery products is an urgent issue today.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The work of domestic and foreign scientists is devoted to the use of non-traditional raw materials and food additives in the production of food products. A.M. Dorokhov, V.I. Drobot, M.M. Kalakura, L.I. Kar-naushenko, I.V. Sirohmana, S.Ya. Koryachkin, B. Sullivan, etc. It is shown that products with powders after drying vegetables and fruit are promising.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Despite the variety of existing herbal supplements, the choice for bakery products is limited. In this aspect, the use of waste from the schrot of berries of Kalina is promising.

**The research objective.** The aim of the work is to investigate the effect of powder from the schrot of berries of Kalina (peel and seeds) on the properties of the dough and the quality of wheat bread.

**The statement of basic materials.** To obtain powder from the squeezes of the berries, the rocks were dried and ground to particles of 0.10-0.15 mm. Powder is a homogeneous mass of yellow-brown color with the taste and smell inherent in the raw material. According to organoleptic parameters, it is an original flavoring supplement, as well as protein and vitamin enriched to produce products of high biological value.

To find out the regularities of the action of powder from the exhausting of berries on the processes that occur during the production of wheat bread, the effect of this additive on the main raw material for baking production - flour and yeast - has been investigated.

The quality of bread was evaluated according to the method of conducting laboratory test batches of dough prepared from flour, salt, water of drinking, yeast, and powder from the squeezes of the cranberry in an oozing way. The baking temperature is 220 °C, the time is 45 minutes.

The organoleptic method evaluated the bread form, the color and appearance of the crust, the taste and smell. The quality control of the finished bread was carried out according to the physical and chemical properties - humidity, acidity, porosity.

*Adding powder from the squeegees of berries to the potatoes enriches the products with vitamins, organic acids, antioxidants. Presence of substances with antioxidant properties leads to deceleration of oxidative processes occurring during baking and storage of products - the storage period of bread increases by 1.7 times. Enriched with powders from currants, bread is characterized by greater volume and better porosity, the smell, taste of finished products does not deteriorate, and a pleasant taste of vanilla berries is felt.*

*The use of powder from the squeegees of the berries of the dew reduces the duration of maturation of the dough by 25%, as compared to the non-ooconical method without the addition of additives. The introduction of powder contributes to the intensification of microbiological, colloidal, physico-chemical processes, which provide faster maturation of the dough.*

**Conclusions.** *The obtained results stipulate the prospects of using powders from schrot of berries of Kalina (waste products of juices and wines) in the production of bakery products. They enrich the products with vitamins, organic acids, antioxidants, reduce the duration of maturation of the test by 25% compared to the unpaired method without the addition of additives.*

**Key words:** *powder from the schrot of Kalina berries; wheat bread; physicochemical and organoleptic indices.*

*Tabl.: 3. Fig.: 3. Bibl.: 23.*

УДК 664.66.022.39

### Ольга Сизая, Олеся Савченко, Ирина Журок, Марина Дорожинская ПОРОШОК ИЗ ВЫЖИМОК ЯГОД КАЛИНЫ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА

*В статье рассмотрена возможность использования порошков, изготовленных из отходов производства соков и вин – выжимок ягод калины, в технологии производства хлеба пшеничного. Исследован химический состав порошка и его влияние на органолептические и физико-химические показатели качества теста и готовых изделий. Установлено, что введение порошка из выжимок ягод калины в рецептуру хлеба пшеничного позволяет получить высококачественную готовую продукцию с улучшенными структурно-механическими свойствами, повышенной биологической ценностью и увеличенными сроками хранения.*

**Ключевые слова:** *порошок из выжимок ягоды калины; хлеб пшеничный; физико-химические и органолептические показатели.*

*Tabl.: 3. Рис.: 3. Библ.: 23.*

**Сиза Ольга Іллівна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Сизая Ольга Ильинична** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Sizaya Olga** – Doctor in Technical Sciences, Professor, Head of the Food Technologies Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** syza7@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4624-9656>

**ResearcherID:** H-1156-2016

**Scopus Author ID:** 6602398626

**Савченко Олеся Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Савченко Олеся Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Savchenko Olesya** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technologies Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** savchenkolm68@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0385-7232>

**ResearcherID:** H-1217-2016

**Scopus Author ID:** 7006763332

**Журок Ирина Миколаївна** – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Журок Ирина Николаевна** – магистр, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Zhurok Iryna** – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**Дорожинська Марина Володимирівна** – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Дорожинская Марина Владимировна** – магистр, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Dorozhynska Maryna** – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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



Ірина Заморська

**ВМІСТ ТОКСИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ В ЯГОДАХ СУНИЦІ  
САДОВОЇ ТА ПРОДУКТАХ ПЕРЕРОБКИ З НИХ**

**Актуальність теми дослідження.** У харчовій промисловості існує проблема хімічного забруднення сировини та харчової продукції, що зумовлено діяльністю людини та неналежною сільськогосподарською практикою. Отже, важливим завданням є дослідження ризиків хімічних небезпек пов'язаних з харчуванням.

**Постановка проблеми.** Одним зі значних ризиків хімічного забруднення сировини та готової продукції є вміст токсичних елементів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існують дослідження вмісту токсичних елементів у свіжих фруктах та наслідків їх негативного впливу на здоров'я людини. Нормативні документи в Україні та світі регламентують максимально допустимий рівень токсичних елементів для плодово-ягідної продукції та продуктів харчування в цілому.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Проте в науковій літературі не виявлено достатньої інформації про ризики виникнення небезпек, пов'язаних з вмістом токсичних елементів окремо у свіжих, заморожених ягодах суниці та продуктах переробки з них.

**Мета дослідження.** Метою цієї роботи є встановлення ризиків виникнення небезпек, пов'язаних з вмістом токсичних елементів у свіжих, заморожених ягодах суниці та найбільш популярних видах консервів з них.

**Виклад основного матеріалу.** Вміст токсичних елементів досліджували у свіжих, заморожених ягодах суниці сортів Русанівка, Полка, Дукач і Хоней, а також компотах, джемах, варенні та соках з ягід цих сортів методом атомно-абсорбційної спектrophотометрії.

Досліджено, що за вмістом токсичних елементів свіжі, заморожені ягоди суниці відповідають Державним гігієнічним правилам і нормам «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах» та є істотно нижчими за ці показники. Вміст свинцю в ягодах виявлено на рівні 0,01...0,03, кадмію – 0,00008...0,002, міді – не вище 0,21, а нікелю – 0,02 мг/кг. Доведено, що процес заморожування не справив істотного впливу на вміст токсичних елементів в ягодах, що зумовлено неруйнівними технологічними операціями підготовки ягід суниці до заморожування. Встановлено, що вміст кадмію в консервах з суниці не перевищував 0,001 мг/кг продукту, а міді був у 24...500 разів нижче максимально встановленого рівня. Вміст нікелю знаходився в межах від 0,00002 до 0,023, заліза – 0,25–1,15 мг/кг, а свинцю – не виявлено.

**Висновки.** За вмістом токсичних елементів досліджувані зразки сировини та готової продукції відповідають Державним гігієнічним правилам і нормам «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах», що затверджені в Україні. Ризик виникнення небезпек, пов'язаних з вмістом токсичних елементів у свіжих, заморожених ягодах суниці та продуктах переробки з них, низький.

**Ключові слова:** токсичні елементи; суниця; компот; джем; варення; сік.

Табл.: 2. Бібл.: 14.

**Постановка проблеми.** У галузі виробництва харчової продукції значна увага зосереджена на проблемі її безпечності у зв'язку зі зростанням ризиків забруднення сировини внаслідок антропогенної діяльності людини, неналежної сільськогосподарської практики та збільшенням кількості захворювань, що пов'язані з харчуванням через недосконалі технології виробництва.

Українське законодавство у сфері безпечності та якості харчової продукції передбачає впровадження на підприємствах харчової промисловості України моделі системи безпечності харчових продуктів, побудованої на процедурах НАССР, що охоплює контроль всього ланцюга виробництва харчового продукту від отримання сировини до реалізації готового продукту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним зі значних ризиків хімічного забруднення сировини та готової продукції є вміст токсичних елементів. Їх присутність може впливати на різні фізіологічні процеси в рослинному організмі: фотосинтез, дихання, транспірацію, проникність клітинних мембран. Шляхи потрапляння токсичних елементів у свіжу плодово-ягідну продукцію є різними. Якщо мідь і марганець потрапляють природним шляхом і можуть бути необхідними для рослин, то інші елементи – в результаті людської діяльності [1]. Основними забруднювачами продуктів харчування вважають кадмій, свинець і ртуть.

Відомо, що більшість токсичних елементів не піддаються біологічному розкладанню, мають тривалі біологічні періоди напіврозпаду та значний потенціал до накопичення, що призводить до негативних наслідків для здоров'я людини [2]. За даними М.Н. Stefanut та ін. [3], свіжі фрукти можуть містити не більше 0,5 мг/кг миш'яку, 0,05 мг/кг кадмію, 0,5 мг/кг свинцю, 5 мг/кг цинку, 5 мг/кг міді, 0,05 мг/кг ртуті.

Державні гігієнічні правила і норми «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах», що затверджені в Україні наказом МОЗ № 368 від 13.05.2013, не регламентують окремо вміст токсичних елементів у свіжих, заморожених ягодах суниці, а визначають їх максимальний рівень для свіжої та замороженої плодово-ягідної продукції загалом у кількості не більше: свинцю – 0,2, кадмію – 0,03, ртуті – 0,02 мг/кг.

Натомість при міжнародній торгівлі продуктами харчування контролюють окрім вищезазначених елементів, вміст заліза та стронцію [1; 4]. Відомо також про токсичний вплив на організм людини хрому, марганцю та нікелю [1; 5]. Спільні рекомендації Продовольчої і сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (ФАО) та Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) щодо контамінантів у харчових продуктах регламентують вміст алюмінію, миш'яку, кадмію, свинцю, ртуті, метил ртуті та олова [6].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Проте в науковій літературі не виявлено достатньої інформації про ризики виникнення небезпек пов'язаних з вмістом токсичних елементів окремо у свіжих ягодах суниці, заморожених та продуктах переробки з них.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є встановлення ризиків виникнення небезпек пов'язаних з вмістом токсичних елементів у свіжих ягодах суниці, заморожених та найбільш популярних видах консервів з них.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єкти дослідження – свіжі, заморожені ягоди суниці садової сортів Русанівка, Полка, Дукаг і Хоней, а також компоти, джеми, варення та соки з ягід цих сортів.

Для отримання заморожених ягід суниці сировину інспектували,мили, підсушували та заморожували розсипом за температури  $(-30 \pm 1)^\circ\text{C}$ , після чого ягоди фасували у поліетиленові пакети масою до 500 г, герметизували і зберігали протягом шести місяців за температури  $(-18 \pm 1)^\circ\text{C}$ .

Для виробництва консервів ягоди суниці збирали у технічній стадії стиглості, відбираючи доброякісні плоди за ГОСТ 6828–89, очищували і мили. З підготовлених ягід виготовляли компоти, джеми, варення і соки згідно з чинними технологічними інструкціями. Варення уварювали до вмісту сухих розчинних речовин 68 %, джем – до 62 %. При виготовленні компотів підготовлені ягоди суниці заливали цукровим сиропом з концентрацією 68 %. Натуральний неосвітлений сік суничний отримували з ягід суміші сортів шляхом пресування. Готову продукцію фасували у скляну тару місткістю 250 см<sup>3</sup>, пастеризували, герметизували та зберігали протягом шести місяців за температури  $(+20 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Повторність дослідів триразова.

Вміст токсичних елементів досліджували методом атомно-абсорбційної спектроскопометрії. Статистичний аналіз виконували методами дисперсійного аналізу за допомогою програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 Russian, Enterprise Single User (2007).

Результати визначення вмісту токсичних елементів у свіжих та заморожених ягодах суниці представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

*Вміст токсичних елементів у свіжих та заморожених ягодах суниці, мг/кг*

Сорт	Pb	Cd	Cu	Ni	Hg	Fe
Допустимий рівень	0,2	0,03	5,0	не нормується	0,02	не нормується
Свіжі ягоди						
Полка	0,01	0,00008	0,08	0,020	0,006	0,92
Русанівка	0,03	НВ*	0,06	0,010	–	0,36
Дукаг	0,03	0,00200	0,21	0,010	0,006	0,65
Хоней	0,01	НВ	0,16	0,020	0,006	0,74
Заморожені ягоди						
Полка	0,01	0,00050	0,11	0,007	НВ	0,28
Русанівка	0,01	0,00100	0,15	0,020	НВ	0,40
НІР <sub>05</sub>	0,01	0,01	0,02	0,012	0,01	0,04

\*НВ – не виявлено.

Отримані дані показали, що за вмістом токсичних елементів свіжі ягоди суниці відповідають Державним гігієнічним правилам і нормам «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах» та є істотно нижчими за ці показники. Так, вміст свинцю в ягодах виявлено на рівні 0,01...0,03 мг/кг. Об'єднаний комітет експертів ФАО/ВООЗ з харчових добавок (JECFA) [7] встановив попередню допустиму тижневу дозу свинцю (PTWI) від 25 мкг/кг маси тіла/тиждень для дорослої людини, потрапляння в організм якого може відбуватися через продукти харчування, воду, ґрунт, повітря, а вклад окремих джерел свинцю може залежати від способу життя і соціально-економічного статусу [8]. Максимальний рівень свинцю встановлений ФАО/ВООЗ (2016) для фруктів 0,1 мг/кг [9].

Вміст кадмію у свіжих та заморожених ягодах суниці коливався від 0,00008 до 0,002 мг/кг, а загальне споживання його знаходиться в межах 2,8...4,2 мкг/кг маси тіла людини на тиждень з попередньою допустимою тижневою дозою не більше 7 мкг/кг маси тіла дорослої людини на тиждень [9].

Кадмій вважають відносно рідкісним елементом, що потрапляє в повітря, землю і воду в результаті людської діяльності, тому 36th CCFA (2004) прийняла рішення про припинення роботи з визначення максимально допустимого рівня кадмію у фруктах, оскільки вони не дають основного внеску в потрапляння кадмію в організм людини [9].

Мідь відноситься до елементів, що необхідні для підтримання життєдіяльності рослинного, тваринного і людського організмів, здоров'я центральної нервової системи, профілактики анемії, а її дефіцит призводить до порушення фізіологічних процесів [10]. Проте надлишок міді в організмі може спричинити отруєння. Максимальний вміст міді у свіжих та заморожених ягодах суниці виявлено на рівні 0,21 мг/кг.

Нікель вважається елементом, що не чинить специфічної дії на організм людини, проте існують ризики для її здоров'я від споживання нікелю з харчовими продуктами, особливо з овочами, а також у питній воді. В Європейському Союзі нині не встановлено максимальних рівнів нікелю в продуктах харчування [11]. Його щоденне споживання через різні джерела оцінюється на рівні 0,046 мг/кг [12]. Безпечна межа його споживання становить від 3 до 7 мг/кг на день [13]. Вміст нікелю у свіжих та заморожених ягодах суниці не перевищував 0,02 мг/кг.

Вміст ртуті у свіжих ягодах суниці не перевищував рівня 0,006 мг/кг, натомість у заморожених ягодах суниці її не виявлено. Попередня допустима тижнева доза для неорганічної ртуті становить не більше 4 мкг/кг маси тіла дорослої людини на тиждень [9].

Як і мідь, залізо є необхідним елементом для підтримання життєдіяльності людини, проте не рекомендується його надлишкове споживання. Вміст заліза у свіжих та заморожених ягодах суниці був не вищим за 0,92 мг/кг, при цьому не перевищено межі, що встановлена ФАО/ВООЗ (2001) на рівні 425,00 мг/кг [14].

Слід зазначити, що процес заморожування не мав істотного впливу на вміст токсичних елементів в ягодах, що зумовлено неруйнівними технологічними операціями підготовки ягід суниці до заморожування, які включали сортування сировини, видалення чашолистків та плодоніжок, миття і підсушування на повітрі, проте не передбачали видалення неїстівної частини, бланшування тощо.

Результати дослідження показали (табл. 2), що процес консервування не чинить істотного впливу на вміст токсичних елементів у консервах з суниці, а їх рівні не перевищують максимально допустимих, встановлених для харчових продуктів в Україні.

Вміст токсичних елементів у консервах з суниці, мг/кг

Сорт	Вид консервів	Pb	Cd	Cu	Ni	Fe
Допустимий рівень		0, 4	0, 03	5, 0	не нормується	не нормується
Полка	варення	НВ*	НВ	0,12	0,009	0,57
	джем	НВ	0,001	0,01	НВ	0,25
	компот	НВ	НВ	0,15	0,006	0,45
Дукат	варення	НВ	0,0005	0,08	0,00002	0,38
	джем	НВ	НВ	0,02	0,001	0,46
	компот	НВ	НВ	0,09	0,023	0,76
Хоней	варення	НВ	0,0008	0,12	0,013	1,15
	джем	НВ	НВ	0,12	0,008	0,46
	компот	НВ	НВ	0,06	0,009	0,46
Суміш сортів	сік	НВ	НВ	0,21	0,004	0,39
НІР <sub>05</sub>				0,01	0,012	0,01

\*НВ – не виявлено.

Згідно з отриманими даними у різних видах консервів з суниці свинцю не виявлено. Максимальний рівень свинцю встановлений ФАО/ВООЗ (2016) для фруктових соків становить 0,03 мг/кг, для джемів (фруктових консервів) – 0,1 мг/кг.

Вміст кадмію в консервах із суниці не перевищував 0,001 мг/кг продукту, що значно нижче за максимально допустимий рівень для фруктових консервів, який затверджено в Україні. Його виявлено у джемах з ягід сорту Полка, варенні з ягід сортів Дукат та Хоней, тоді як у інших продуктах переробки кадмію не виявлено.

Мідь виявлено у всіх продуктах переробки з ягід суниці, а її вміст коливався в межах від 0,01 до 0,21 мг/кг, що в 24...500 разів нижче максимально встановленого рівня. Істотно вищий вміст міді проти інших продуктів переробки з ягід суниці виявлено у соках. Вміст нікелю у консервах із суниці коливався в межах від 0,00002 до 0,023 мг/кг, а заліза – 0,25...1,15 мг/кг, проте в Україні не встановлено максимально допустимого рівня для цих елементів.

**Висновки.** За вмістом токсичних елементів досліджувані зразки сировини та готової продукції відповідають Державним гігієнічним правилам і нормам «Регламент максимальних рівнів окремих забруднюючих речовин у харчових продуктах», що затверджені в Україні. Ризик виникнення небезпек пов'язаних з вмістом токсичних елементів у свіжих, заморожених ягодах суниці та продуктах переробки з них, низький.

#### Список використаних джерел

1. Kalagbor I. A. Analysis of heavy metals in four fruits from Sii and Zaakpon communities in Khana, Rivers State / I. A. Kalagbor, P. B. Naifa, J. N. Umeh // Int J Emerg Technol Adv Eng. – 2014. – Vol. 4. – № 5. – Pp. 827–31.
2. Sobukola, O. P. Heavy metal levels of some fruits and leafy vegetables from selected markets in Lagos, Nigeria / O. P. Sobukola, O. M. Adeniran, A. A. Odedairo, O. E. Kajihausa // African Journal of Food Science. – 2010. – Vol. 4. – № 6. – Pp. 389–393.
3. Stefanut M. N. The monitoring of heavy metals in fruits / M.N. Stefanut, I. David, Z. Stanoiev, C. Macarie // Chemical Bulletin "POLITEHNICA" University, (Timișoara). – 2007. – Vol. 52. – № 66. – C. 147–151.
4. Sajib M. A. M. Minerals and heavy metals concentration in selected tropical fruits of Bangladesh / M. A. M. Sajib, M. M. Hoque, S. Yeasmin, M. H. A. Khatun // International Food Research Journal. – 2014. – Vol. 21. – № 5.
5. Lanre-Iyanda T. Y. Assessment of heavy metals and their estimated daily intakes from two commonly consumed foods (Kulikuli and Robo) found in Nigeria / T. Y. Lanre-Iyanda, I. M. Adekunle // African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. – 2012. – Vol. 12. – № 3. – C. 6156–6169.
6. World Health Organization (WHO) et al. Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Food // The Hague/ The Netherlands. – 2011.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. JECFA. Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. 44 IPCS International Programme on Chemical Safety Contaminants, 2000 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v44jeeI2.htm>.
8. Othman Z. A. A. Lead contamination in selected foods from Riyadh city market and estimation of the daily intake / Othman Z. A. A. // *Molecules*. – 2010. – Vol. 15. – № 10. – С. 7482–7497.
9. Joint FAO/WHO food standards programme CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION 39th Session Rome. Italy. 27 June – 1 July 2016.
10. Elbagermi M. A. Monitoring of heavy metal content in fruits and vegetables collected from production and market sites in the Misurata area of Libya / M. A. Elbagermi, H. G. M. Edwards, A. I. Alajtal // *ISRAN Analytical Chemistry*. – 2012. – Vol. 2012.
11. *Metals as contaminants in food* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/metals-contaminants-food>.
12. Heavy metals in vegetables and potential risk for human health / F. Guerra, A. R. Trevizam, T. Muraoka, N. C. Marcante, S. G. Canniatti-Brazaca // *Scientia Agricola*. – 2012. – Vol. 69. – № 1. – С. 54–60.
13. Oti W. J. O. Pollution Indices and Bioaccumulation Factors of Heavy Metals in Selected Fruits and Vegetables from a Derelict Mine and their Associated Health Implications / Oti W. J. O. // *Int. J. Environ. Sci. Toxic. Res.* – 2015. – Vol. 3. – № 1. – С. 9–15.
14. FAO/WHO, Codex Alimentarius Commission (2001). Food Additives and Contaminants. Joint FAO/WHO Food Standards programme, ALINORM 01/12A:1-289.

**References**

1. Kalagbor, I. A., Naifa, P. B., Umeh, J. N. (2014). Analysis of heavy metals in four fruits from Sii and Zaakpon communities in Khana, Rivers State. *Int J Emerg Technol Adv Eng*, vol. 4, no. 5, pp. 827–831.
2. Sobukola, O. P., Adeniran, O. M., Odedairo, A. A., Kajihansa, O. E. (2010). Heavy metal levels of some fruits and leafy vegetables from selected markets in Lagos, Nigeria. *African Journal of Food Science*, vol. 4, no. 6, pp. 389–393.
3. Stefanut, M. N., David, I., Stanoiev, Z., Macarie, C. (2007). The monitoring of heavy metals in fruits. *Chemical Bulletin "POLITEHNICA" University*, (Timișoara), vol. 52, no. 66, pp. 147–151.
4. Sajib, M. A. M., Hoque, M. M., Yeasmin, S., Khatun M. H. A. (2014). Minerals and heavy metals concentration in selected tropical fruits of Bangladesh. *International Food Research Journal*, vol. 21, no. 5.
5. Lanre-Iyanda, T. Y., Adekunle, I. M. (2012). Assessment of heavy metals and their estimated daily intakes from two commonly consumed foods (Kulikuli and Robo) found in Nigeria. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, vol. 12, no. 3, pp. 6156–6169.
6. World Health Organization (WHO) et al. (2011). *Joint FAO/WHO Food Standards Programme Codex Committee on Contaminants in Food*. The Hague. The Netherlands.
7. JECFA. Safety Evaluation of Certain Food Additives and Contaminants. (2000). *44 IPCS International Programme on Chemical Safety Contaminants/ 2000*. Retrieved from <http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v44jeeI2.htm>.
8. Othman, Z. A. A. (2010). Lead contamination in selected foods from Riyadh city market and estimation of the daily intake. *Molecules*, vol. 15, no. 10, pp. 7482–7497.
9. Joint FAO/WHO food standards programme CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION 39th Session Rome. Italy, 27 June – 1 July 2016.
10. Elbagermi, M. A., Edwards, H. G. M., Alajtal, A. I. (2012). Monitoring of heavy metal content in fruits and vegetables collected from production and market sites in the Misurata area of Libya. *ISRAN Analytical Chemistry*, vol. 2012.
11. *Metals as contaminants in food*. Retrieved from <https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/metals-contaminants-food>.
12. Guerra, F., Trevizam, A. R., Muraoka, N., Marcante, C., Canniatti-Brazaca, S. G. (2012). Heavy metals in vegetables and potential risk for human health. *Scientia Agricola*, vol. 69, no. 1, pp. 54–60.
13. Oti, W. J. O. (2015). Pollution Indices and Bioaccumulation Factors of Heavy Metals in Selected Fruits and Vegetables from a Derelict Mine and their Associated Health Implications. *Int. J. Environ. Sci. Toxic. Res.*, vol. 3, no. 1, pp. 9–15.
14. FAO/WHO, Codex Alimentarius Commission (2001). Food Additives and Contaminants. *Joint FAO/WHO Food Standards programme*, ALINORM 01/12A:1-289.

UDC 664.851:634.75

Iryna Zamorska

## CONTENT OF TOXIC ELEMENTS IN STRAWBERRIES AND THEIR PROCESSED PRODUCTS

**Urgency of the research.** The problem of chemical contamination of raw materials and finished produce exists in food industry; it results from human activity and inappropriate agricultural practices. Hence, to study risks of chemical threats for nutrition is an important task.

**Target setting.** One of the serious risks of chemical contamination of raw materials and finished produce is toxic element content.

**Actual scientific researches and issues analysis.** There are studies of toxic element content in fresh fruits and consequences of their negative effect on human health. Rules and regulations in Ukraine and in the world regulate maximum permissible level of toxic elements for fruit-berry output and foodstuff in general.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** However, in scientific literature there is not enough information concerning the risks of potential hazards connected with toxic element content in fresh, frozen strawberries and their processed products, studied separately.

**The research objective.** The purpose of the work is to identify the risks of potential threats associated with toxic element content in fresh, frozen strawberries and in the most common canned strawberry output.

**The statement of basic materials.** The content of toxic elements was studied in fresh, frozen strawberries of cultivars Rusaniwka, Polka, Dukat and Honey, and also in stewed fruits, jams, confitures and juices cooked from these berries using the method of atom-absorptive spectrophotometry. It has been studied that as to the toxic element content, frozen strawberries correspond to the National hygienic rules and regulations "Order of maximum levels of some contaminants in foodstuffs", and their amount is much lesser than the indicators. Lead content in berries was 0,01–0,03, cadmium – 0,00008–0,002, copper – not higher than 0,21, and nickel – 0,02 mg/kg. It was proved that the process of freezing did not affect toxic element content in strawberries due to non-destructive technological operations of preparing them for freezing. It was determined that cadmium content in canned strawberries did not exceed 0,001 mg/kg of the product, and that of copper was 24–500 times lower than a maximum fixed level. Nickel content ranged from 0,00002 to 0,023, content of iron – 0,25–1,15 mg/kg, and lead was not found.

**Conclusions.** As to the content of toxic elements the studied samples of raw material and finished produce correspond to the National hygienic rules and regulations "Order of maximum levels of some contaminants in foodstuffs", enacted in Ukraine. The risk of potential threats connected with the content of toxic elements in fresh, frozen strawberries and their processed products is low.

**Key words:** toxic elements; strawberries; stewed fruit; jam; confiture; juice.

Tabl.: 2. Bibl.: 14.

УДК 664.851:634.75

Ирина Заморская

## СОДЕРЖАНИЕ ТОКСИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЯГОДАХ ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ И ПРОДУКТАХ ИХ ПЕРЕРАБОТКИ

Исследовано содержание токсических элементов в свежих, замороженных ягодах земляники садовой и продуктах их переработки. Установлено, что процессы замораживания и консервирования не оказали существенного влияния на содержание токсических элементов в ягодах и консервах. По содержанию токсических элементов исследованные образцы сырья и готовой продукции не превышают максимально допустимых уровней, установленных в Украине для пищевых продуктов.

**Ключевые слова:** токсические элементы; земляника; компот; джем; варенье; сок.

Табл.: 2. Библ.: 14.

**Заморська Ірина Леонідівна** – доцент кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів, Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська, 1, м. Умань, 20305, Україна).

**Заморская Ирина Леонидовна** – доцент кафедры технологии хранения и переработки плодов и овощей, Уманский национальный университет садоводства (ул. Институтская, 1, г. Умань, 20305, Украина).

**Zamorska Iryna** – Associate Professor of Department of Technology Storage and Processing of Fruits and Vegetables, Uman national university of horticulture (1 Instytutska Str., 20305 Uman, Ukraine).

**E-mail:** zil197608@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2767-1176>

Дмитро Крамаренко, Володимир Дуб

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК ГІДРОБІОНТІВ НА ВЛАСТИВОСТІ КЛЕЙКОВИНИ ПШЕНИЧНОГО БОРОШНА

**Актуальність теми дослідження.** Хімічний склад хлібобулочних виробів недосконалий і потребує поліпшення завдяки збагаченню хлібобулочних виробів новою нетрадиційною сировиною. Також важливою проблемою є покращення якості клейковини борошна завдяки новим добавкам.

**Постановка проблеми.** Хлібобулочні вироби відносяться до числа тих продуктів харчування, які напряму залежать від якості основного виду сировини – борошна. У сучасних економічних умовах в Україні значна частка виробів виготовляється з пшеничного борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосування харчових добавок при переробленні борошна з низькими хлібопекарськими властивостями досліджували багато провідних вітчизняних та закордонних науковців.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Пошук нових добавок, які поліпшують якість клейковини борошна та підвищують харчову цінність борошняних виробів є повністю не вирішеним актуальним завданням.

**Постановка завдання.** Головною метою цієї роботи є дослідження впливу добавок з гідробіонтів рослинного і тваринного походження на якість клейковини пшеничного борошна.

**Виклад основного матеріалу.** З метою дослідження впливу добавок гідробіонтів на якість клейковини ми обрали добавки рослинного та тваринного походження з гідробіонтів: гідролізат з молюсків, водорість цистозіри та ламінарія, а також водна багаторічна рослина роду Ряска (*Letpa*) сімейства Ароїдні. Додавання всіх добавок позитивно впливає на зміцнення клейковинного каркаса. Однак введення рослинних добавок у кількостях більше 9 % вже значно зменшує розтяжність на 36,26...76,47 % порівняно з контролем. Додавання добавок гідробіонтів дозволяє покращити якість клейковини борошна вже при додаванні 1,5 % добавок на 3,45...10,84 % у порівнянні з контролем підвищується показник ІДК. Внесення добавок у кількостях 4,5 % для гідролізату з молюсків і ряски підвищує кількість клейковини на 2,92...6,25 %, а додавання цистозіри та ламінарії зменшує вихід сирової клейковини на 2,58...9,89 %.

**Висновки.** Таким чином, у результаті проведених досліджень було встановлено, що добавки гідробіонтів укріплюють клейковину тіста, зменшують показники розтяжності та показник ІДК, поряд з цим добавки цистозіри і ламінарії зменшують вміст сирової клейковини. На нашу думку, найбільш раціональним інтервалом введення досліджуваних добавок є 3...9 % від маси борошна.

**Ключові слова:** хлібобулочні вироби; борошно; клейковина; гідробіонти; водорості; гідролізат з молюсків.

Рис.: 3. Бібл.: 11.

**Постановка проблеми.** Харчування сучасної людини найчастіше не забезпечує рекомендованих фізіологічних норм необхідних організму нутрієнтів, що призводить до зниження фізичної та розумової працездатності та скорочує тривалість життя. До основних проблем неповноцінності харчування можна віднести декілька постійних негативних чинників: дефіцит повноцінного білка, мінеральних елементів. Особливо це стосується дефіциту йоду, селену, заліза, кальцію.

Хлібобулочні вироби є одними з найважливіших продуктів харчування. Велика задоволеність хлібобулочних виробів пов'язана з особливістю їх хімічного складу та сприятливим станом речовин, які входять до складу. За рахунок споживання хлібобулочних виробів людина приблизно на 30 % задовольняє потребу в калоріях, більш ніж наполовину – у вітамінах групи В, солях фосфору та заліза, наполовину – у вуглеводах, на третину – у білках [1].

Хлібобулочні вироби відносяться до числа тих продуктів харчування, які напряму залежать від якості основного виду сировини – борошна. У сучасних економічних умовах в Україні значна частка виробів виготовляється з пшеничного борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями. Хлібопекарські виробництва вимушені використовувати у своєму виробництві значні обсяги борошна з низьким вмістом клейковини.

Оскільки від кількості та якості клейковини, активності ферментів залежить сила борошна (здатність утворювати тісто з заданими структурно-механічними властивостями, що забезпечують достатній обсяг хлібобулочних виробів, їх формостійкість), науковці й виробники вимушені проводити пошук технологічних заходів і добавок для поліпшення стану білково-протеїназного комплексу борошна, адже на сьогодні на хлібопекарські підприємства надходить 75...80 % борошна зі зниженими хлібопекарськими

ми властивостями [2]. Для регулювання якості клейковинного комплексу необхідно уявляти складові компоненти та їхню роль у формуванні клейковини.

Серед сучасних способів регулювання якості хлібобулочної продукції особливе місце посідають хлібопекарські поліпшувачі. Проблема їх застосування пов'язана з такими аспектами, як їх технологічність, харчова безпека, доступність і собівартість. На сьогодні ринок пропонує велику кількість поліпшувачів якості борошна, в тому числі комплексних, більшість яких – це добавки іноземного виробництва. Така ситуація вимагає детального і професійного аналізу асортименту сучасних хлібопекарських поліпшувачів і способів їх застосування в технологіях хлібопечення.

До таких поліпшувачів можна віднести тіосульфат натрію, глутатіон, L-цистеїн і його калієві та натрієві солі, ортофосфорну кислоту разом з карбамідом (діаміном вугільної кислоти) тощо. За рахунок внесення цих добавок збільшується розтяжність та знижується пружність клейковини, підвищується її еластичність, прискорюється процес утворення тіста, зростає його газотримувальна здатність, збільшується об'ємний вихід хліба, поліпшуються структурно-механічні властивості м'якушки. Вважається, що ці зміни зумовлені деполімеризацією клейковинних білків на рівні четвертинної й третинної структури молекули внаслідок руйнування нековалентних зв'язків [3].

Застосування поверхнево активних речовин дозволяє регулювати реологічні властивості тіста при переробленні різного за силою борошна. Вибір поверхнево активних речовин залежить від хлібопекарських властивостей борошна. Так, ефективною добавкою, що укріплює клейковину, є ефір моногліцеридів з діацетилвинною кислотою – ДВК-ефір. З метою послаблення клейковини, поліпшення розтяжності й еластичності короткої за розтяжністю чи пружної клейковини рекомендується використовувати фосфатидні концентрати, соєвий лецитин, емульгатор Т-2 та ін. [4].

Унаслідок використання поверхнево активних речовин поліпшується газотримувальна здатність тістових заготовок, збільшується об'єм хлібобулочних виробів, покращується структура м'якушки, уповільнюється черствіння.

Застосування ферментних препаратів у технології хлібопекарного виробництва дозволяє стабілізувати хлібопекарські властивості борошна, регулювати процеси бродіння, формувати певні властивості напівфабрикатів, поліпшувати якість, підвищувати вихід хлібобулочних виробів, харчову цінність, реалізовувати сучасні однофазні технології [4].

При переробленні борошна зі зниженим вмістом клейковини тісто має низькі структурно-механічні властивості – недостатню пружність і еластичність, що зумовлює низьку газотримувальну здатність, негативно впливає на формостійкість тістових заготовок під час вистоювання і випікання. Хліб з такого борошна має малий об'єм, недостатню розпушеність м'якушки.

Визнаним заходом покращання якості виробів у цьому випадку є внесення в тісто харчових добавок, які впливають на консистенцію тіста. Головною технологічною функцією добавок цієї групи у харчових системах є підвищення в'язкості, формування структури. До цих добавок віднесено модифіковані крохмалі, пектин, еламін, альгірати, мікробні полісахариди, суху пшеничну клейковину. Ці добавки ефективно використовувати при пониженому вмісті клейковини та низькій якості.

Серед добавок – регуляторів консистенції набуває визнання суха пшенична клейковина (СПК). СПК – це порошок світло-кремового кольору, який містить понад 72...83 % білкових речовин [5]. Її отримують виділенням із пшеничного борошна, яке спочатку змішують з водою, отримуючи водно-борошняну суспензію, а потім піддають повільній дії безперервного потоку води, яка вимиває крохмаль, цукор, розчинні білки. З проведеного огляду можна зробити висновок про існування проблеми поліпшення якості клейковини пшеничного борошна й актуальність пошуків нових шляхів її вирішення.



**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання застосування харчових добавок при переробленні борошна з низькими хлібопекарськими властивостями розглядали Л. І. Пучкова, В. І. Дробот, Л. Ю. Арсенєва, О. Б. Шидловська, Л. І. Карнаушенко, Р. Д. Паландова та інші дослідники. Подальший розвиток досліджень технологічних властивостей харчових добавок, удосконалення технології використання їх у хлібопекарської промисловості сприятиме покращенню якості готових виробів з борошна з низькими хлібопекарськими властивостями.

В Україні, як і в багатьох інших країнах, у силу різних причин протягом останніх десятиліть спостерігається тенденція до погіршення якості зерна, що призводить до зниження хлібопекарських властивостей виробленого з нього борошна.

Основними вадами борошна є низький вміст клейковини, за якістю – слабка або коротка за розтяжністю, зі зниженою гідратаційною здатністю, погіршеною еластичністю.

Є. Д. Казаков зазначає, що у Чорноземній зоні за останній час вміст білка в зерні пшениці знизився на 1...1,5 %, а клейковини – на 6...8 %. Основними причинами цього явища є недостатня кількість доступного азоту у ґрунті, порушення агротехнічних, селекційно-генетичних і організаційно-економічних факторів, які впливають на якість зерна [4].

Хліб майже на половину задовольняє потребу людини у вуглеводах, на третину – в білках, більш ніж наполовину у вітамінах групи В, солях фосфору і заліза. Водночас хімічний склад хліба не досконалий і потребує збільшення кількості та досягнення збалансованості найважливіших нутрієнтів. Наприклад, він незбалансований за співвідношенням натрію й калію, оскільки 150...200 г хліба задовольняє добову фізіологічну потребу в натрію, тоді як у калію – тільки в межах 5...15 %. Хліб можна вважати перспективним продуктом для збагачення на есенціальні інгредієнти завдяки тому, що він є загальноживим і доступним за ціною. Надання виробам бажаних функціональних властивостей можна здійснити шляхом цілеспрямованої оптимізації їх хімічного складу на базі використання нових видів сировини й біологічно активних харчових добавок [6].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Таким чином, із наведених даних випливає, що хімічний склад хлібобулочних виробів недосконалий і потребує покращення завдяки збагаченню хлібобулочних виробів новою нетрадиційною сировиною. Також важливою проблемою є підвищення якості клейковини борошна за рахунок нових добавок. Тобто пошук нових добавок, які покращують якість клейковини борошна та підвищують харчову цінність борошняних виробів, є повністю не вирішеним актуальним завданням.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є дослідження впливу добавок з гідробіонтів рослинного і тваринного походження на якість клейковини пшеничного борошна.

**Виклад основного матеріалу.** З метою дослідження впливу добавок гідробіонтів на якість клейковини нами були обрані добавки рослинного та тваринного походження з гідробіонтів: гідролізат з молюсків, водорість цистозіра та ламінарія, а також водна багаторічна рослина роду Ряска (*Lemna*) сімейства Ароїдні.

Попередніми дослідженнями встановлено, що гідролізат з молюсків позитивно впливає на стан серцево-судинної і кровотворної систем, виводить з організму токсичні елементи і радіонукліди. Запропонований для використання в технології хлібобулочних виробів гідролізат з молюсків містить біогенні стимулятори, глікопептиди, полісахариди, ді- і моносахариди, вітаміни А, Е, РР, групи В, провітаміни, більше 30 макро- та мікроелементів, у тому числі Са, Р, Fe, Cu, Zn, Mn, Mg, Co, J та інші [7].

Цистозіра містить (у мг %): каратіноїди – 217; фолацин – 0,08; тіамін – 6,1; токоферол – 10,7; ніацин – 10,9; цианокобаламін – 0,14; кальцій – 1170; фосфор – 96; натрій – 1070; залізо – 31; марганець – 8,6; йод – 75-114; цинк – 27; мідь – 22. Крім того, вона є джерелом клітковини, альгінової кислоти, яка має онкопротекторну дію та є джерелом антиоксидантів [8].

Водорість ламінарія традиційно використовується у харчуванні людини. Вона є цінним джерелом макро- та мікроелементів і зокрема йоду [8].

Ряска належить до найцінніших кормових, харчових та лікарських рослин. За літературними даними, вміст клітковини в біомасі ряски становить 10...12 %. За змістом білків ряска перевершує м'ясо (17 %) і наближається до бобових (горох – 21 %, квасоля – 30 %, соя – 39 %), а за вмістом незамінних амінокислот перевершує такі продовольчі культури, як кукурудза і рис, вона також збагачена лізин, аргінін, аспарагінової і глютамінової кислот [9].

Провідна роль в утворенні борошняного тіста належить борошну, воді і дріжджам. При цьому важливе значення має не лише співвідношення компонентів тіста, але і їх властивості, що змінюються під впливом різних чинників.

Відомо, що на процеси дозрівання тіста, їх тривалість значний вплив мають, передусім, технологічні властивості борошна, які визначаються станом її вуглеводно-амілазного і білково-протеїназного комплексів і формуються залежно від особливостей рецептури, умов замісу і дозрівання тіста.

Зміна властивостей білково-протеїназного комплексу пшеничного і житнього борошна у присутності гідролізату з молюсків вивчали за впливом останнього на властивості клейковини борошна і фізичні характеристики тіста.

Експерименти в цій серії дослідів проводили на модельних зразках тіста, що складається з борошна, води і різних концентрацій добавок гідробіонтів.

Експерименти були проведені з використанням пшеничного борошна 1 гатунку, клейковина якого за силою характеризувалася як середня. Для цього складали борошно пшеничне з добавками з гідробіонтів, вміст яких варіювали від 1,5 до 12 % від маси борошна. У ролі контрольних використали зразки тіста з борошна пшеничного 1 гатунку без добавок гідробіонтів.

Кількість і якість клейковини досліджуваних зразків борошна визначали стандартними методами [10; 11].

Результати досліджень впливу добавок гідробіонтів на кількість і якість клейковини пшеничного борошна представлені на рис. 1–3.

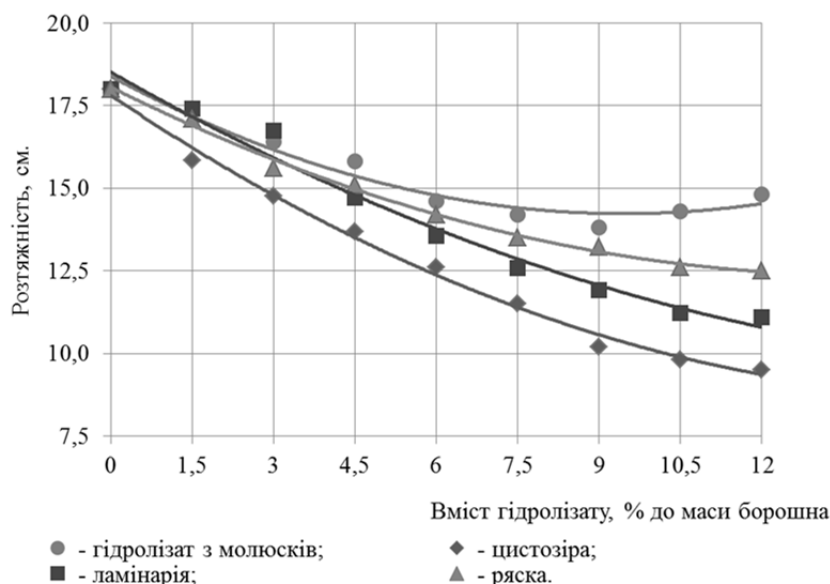


Рис. 1. Вплив добавок з гідробіонтів на розтяжність клейковини борошна

Як видно з рис. 1, додавання всіх добавок позитивно впливає на зміцнення клейковинного каркаса. Поліпшуються фізичні та структурно-механічні властивості, збільшується «сила» борошна та зменшується розтяжність. Так, при внесенні навіть 1,5 % добавок розтяжність зменшується на 3,33...12,01 %. Однак введення рослинних добавок у кількостях більше 9 % вже значно зменшують розтяжність на 36,26...76,47 % порівняно

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

з контролем. Загалом протягом всього інтервалу дослідження кількості добавок, що вводяться, клейковина залишалася в межах показника «середньої клейковини» (розтяжність 10...20 см), за винятком зразків з додаванням 10,5 і 12,0 % цистозіри, де цей показник знижується до «короткої» (до 10 см).

Як видно з рис. 2, якість відмитої клейковини у контролі знаходиться на незадовільному рівні (90 од. ІДК), додавання добавок гідробіонтів дозволяє покращити якість клейковини борошна вже при додаванні 1,5 % добавок на 3,45...10,84 % у порівнянні з контролем. Інтервал 55...75 одиниць ІДК, що характеризує за стандартом клейковину як «гарну», досягається при кількості добавок від 4,5 % і вище. Найбільший ефект на зниження показника стискаємості мають добавки рослинного походження. Це може бути обумовленим збільшення конкуренції гідрофільних складових борошна і рослинних добавок за воду, зі збільшенням їх кількостей. Ймовірно, рослинні добавки швидше поглинають воду, а отже, своєю присутністю створює такі умови, внаслідок яких клейковина не може поглинути достатню кількість вологи і тому укріплюється.

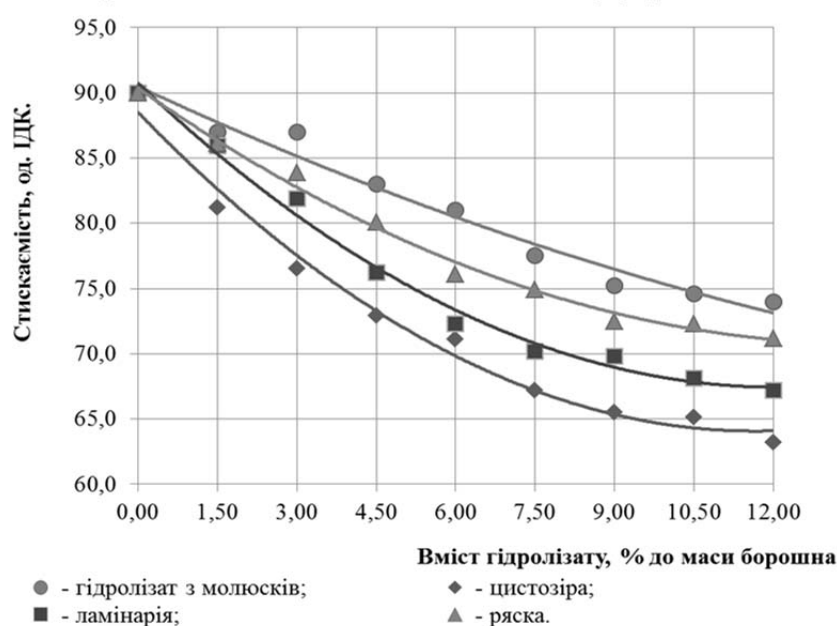


Рис. 2. Вплив добавок з гідробіонтів на стискаємість клейковини борошна

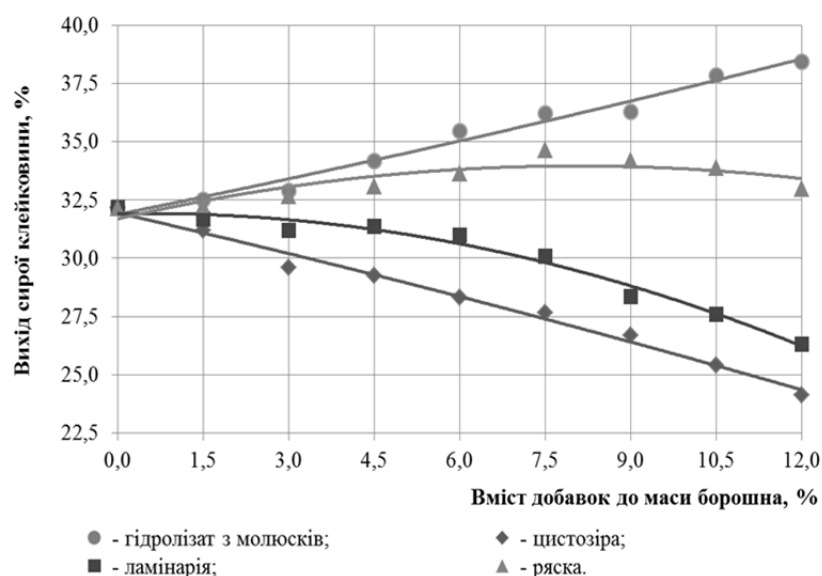


Рис. 3. Вплив добавок з гідробіонтів на вихід сирої клейковини

Як видно з рис. 3, вплив добавок на вихід сирі клейковини різниться для різних добавок. Так, внесення добавок у кількостях 4,5 % для гідролізату з молюсків і ряски підвищує кількість клейковини на 2,92...6,25 % а додавання цистозіри та ламінарії зменшує вихід сирі клейковини на 2,58...9,89 %. На наш погляд, збільшення виходу сирі клейковини у зразках з додаванням гідролізату з молюсків і рясці можна обґрунтувати високим вмістом білків у добавках. Крім того, гідролізат вноситься у рідкому стані тому речовини достатньо гідратовані і не складають конкуренції гідрофільним складовим борошна.

Зменшення виходу клейковини у зразках з цистозірою та ламінарією можна пояснити загальним зниженням кількості білків. Але ламінарія має у своєму складі солі альгінової кислоти, що можуть утворювати комплекси з білками клейковини та додатково зв'язувати вологу.

**Висновки і пропозиції.** Таким чином, у результаті проведених досліджень було встановлено, що добавки гідробіонтів укріплюють клейковину тіста, зменшують показники розтяжності та показник ІДК, поряд з цим добавки цистозіри і ламінарії зменшують вміст сирі клейковини. Тому у процесі приготування хліба із рослинними добавками гідробіонтів з борошна сильного і середнього за силою доцільно підвищувати вологість тіста з метою отримання готового виробу з гарним об'ємом і розвиненою пористістю. На нашу думку, найбільш раціональним інтервалом введення досліджуваних добавок є 3...9 % від маси борошна. Перспективою подальших досліджень є оптимізація вмісту добавок у виробках з дріжджового тіста та розробка нових технологій хлібобулочних виробів з добавками гідробіонтів.

#### Список використаних джерел

1. Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://gosnihp.ru/o\\_hlebe/chem\\_polezen\\_hleb.html](http://gosnihp.ru/o_hlebe/chem_polezen_hleb.html).
2. Щербаков В. Г. Биохимия растительного сырья / В. Г. Щербаков, В. Г. Лобанов, Т. Н. Прудникова. – М. : Колос, 1999. – 376 с.
3. Апет Т. К. Хлеб и булочные изделия (Технология приготовления, рецептура, выпечка) : справочное пособие / Т. К. Апет, З. Н. Пашук. – Минск : ООО «Попурри», 1997. – 320 с.
4. Матвеева И. В. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в качестве мучных изделий / И. В. Матвеева, И. Г. Белявская. – М. : МГУПП, 2001. – 115 с.
5. Сафонова О. Н. Системные исследования технологий переработки продуктов питания / О. Н. Сафонова, Ф. В. Перцевой. – Х., 2000. – 193 с.
6. Сирохман І. В. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення: навч. посіб. [для студ. вищ. навч. закл.] / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 544 с.
7. Ерохин В. Е. Биологически активные вещества черноморских мидий. Некоторые данные о химическом составе / В. Е. Ерохин // Морські біотехнічні системи : зб. наук. статей / НДЦ ЗС України «Державний океанаріум». – 2005. – Вип. 3. – С. 37–46.
8. Крамаренко Д. П. Технологія молочно-білкових фаршів з використанням йодовмісної водоростевої добавки : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.16 / Дмитро Павлович Крамаренко ; [Харківський державний університет харчування та торгівлі]. – Х., 2007. – 205 с.
9. Никифоров Л. А. Сравнительный анализ изучения химических и фармакологических свойств растений рода *Lemna* / Л. А. Никифоров, Н. С. Охотина, С. Е. Дмитрук // Биологически активные соединения в профилактике заболеваний и укреплении здоровья нации : материалы VII Межрегиональной научно-практической фармацевтической конференции. – Новосибирск, 2007. – С. 24–26.
10. Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Ч. 1. Визначення сирі клейковини ручним способом (ISO 21415-1:2006, IDT): ДСТУ ISO 21415-1:2009. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 12 с.
11. Пшениця і пшеничне борошно. Вміст клейковини. Ч. 2. Визначання сирі клейковини механічним способом (ISO 21415-2:2006, IDT). – К. : Держспоживстандарт України, 2011. – 14 с.

## References

1. *Nauchno-issledovatel'skii institut khlebopekarnoi promyshlennosti [Research Institute of Bakery Industry]*. Retrieved from [http://gosniihp.ru/o\\_hlebe/chem\\_polezen\\_hleb.html](http://gosniihp.ru/o_hlebe/chem_polezen_hleb.html).
2. Shcherbakov, V.G., Lobanov, V.G., Prudnikova, T.N. (1999). *Biokhimiia rastitel'nogo syria [Biochemistry of plant raw materials]*. Moscow: Kolos (in Russian).
3. Apet, T.K., Pashuk, Z.N. (1997). *Khleb i bulochnye izdeliia (Tekhnologiia prigotovleniia, retseptura, vypechka) [Bread and bakery products (Cooking technology, recipes, bakery)]*. Minsk: Popurri (in Belarus).
4. Matveeva, I.V., Beliavskaia, I.G. (2001). *Pishchevye dobavki i khlebopekarnye uluchshiteli v kachestve muchnykh izdelii [Food additives and bakery improvers as flour products]*. Moscow MGUPP (in Russian).
5. Safonova, O.N., Pertsevoi, F.V. (2000). *Sistemnye issledovaniia tekhnologii pererabotki produktov pitaniia [System studies of food processing technologies]*. Kharkov (in Ukrainian).
6. Syrokhman, I.V., Zavorodnia, V.M. (2009). *Tovaroznastvo kharchovykh produktiv funktsional'nogo pryznachennia [Commodity study of functional food products]*. Kyiv: Tsentr uchbovoi literatury (in Ukrainian).
7. Erohyn, V. (2005). [Byologicheskyy aktyvniye veshchestva chernomorskykh mydyj. Nekotorye dannye o hymychemskom sostave]. *Biologically active substances of the black sea mussels. Some data on the chemical composition. Morskiy biotekhnichnyi systemy – Marine biotechnical systems*, vol. 3, pp. 37–46 (in Ukrainian).
8. Kramarenko, D. P. (2007). *Tekhnologhiia molochno-bilkovykh farshiv z vykorystanniam yodovmisnoi vodorostevoy dobavky [Milk-protein stuffing technology using iodine-containing algae supplements]*. *Candidates thesis*. Kharkiv: Kharkivskyy derzhavnyi universytet kharchuvannia ta torhivli (in Ukrainian).
9. Nikiforov, L. A., Ohotina, N. S., Dmitruk, S. E. (2007). *Sravnitel'nyi analiz izuchenii khimicheskikh i farmakologicheskikh svoystv rastenii roda Lemna [Comparative analysis of the study of chemical and pharmacological properties of plants of the genus Lemna]*. *Proceeding from Biologicheskii aktivnye soedineniia v profilaktike zabozevanii i ukreplenii zdorovia natsii: VII Mezhhregional'naiia nauchno-prakticheskaiia farmatsevticheskaiia konferentsiia – Biologically active compounds in disease prevention and health promotion of the nation: the VII Interregional Scientific and Practical Pharmaceutical Conference*. Novosibirsk, pp. 24–26 (in Russian).
10. Pshenytsia i pshenychne boroshno. Vmist kleikovyny. Vyznachennia syroi kleikovyny ruchnym sposobom [Wheat and wheat flour. Gluten content Determination of raw gluten by hand] (2011). *DSTU ISO 21415-1:2009*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine (in Ukrainian).
11. Pshenytsia i pshenychne boroshno. Vmist kleikovyny. Vyznachennia syroi kleikovyny mekhanichnym sposobom [Wheat and wheat flour. Gluten content Determination of raw gluten by mechanical means] (2011). *DSTU ISO 21415-2:2006*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine (in Ukrainian).

UDC 664.64.022.39

*Dmytro Kramarenko, Vladimir Dub*

## RESEARCH OF THE HYDROBIONT ADJUNCTS EFFECT ON THE WHEAT FLOUR GLUTEN PROPERTIES

**Urgency of the research.** The chemical composition of bakery products is imperfect, and needs to be improved by enriching bakery products with new non-traditional raw materials. Also an important problem is the improvement of the quality of gluten-free flour due to new additives.

**Target setting.** Bakery products are food products, which directly depend on quality of main type of raw material – flour. Under modern economic conditions in Ukraine, a large proportion of products is manufactured of wheat flour with compromised baking properties.

**Actual scientific researches and issues analysis.** At some point, many leading domestic and foreign scientists investigated use of food adjuncts in processing flour with poor baking properties.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Search for new adjuncts improving the flour gluten quality and increase the nutrition value of starchy foods is an unsolved relevant issue.

**The research objective.** The main objective of this work is research of plant and animal hydrobionts adjuncts effect on the wheat flour gluten quality.

**The statement of basic materials.** In order to study the effect of hydrobiont adjuncts on the gluten quality, the authors selected plant and animal adjuncts of hydrobionts: clam hydrolyzate, cystoseira and laminaria algae, and an aquatic perennial plant of the genus *Lemna* of the family *Araceae*. Adding of all adjuncts positively affects the strengthening of the gluten network. However, the introduction of plant adjuncts in amount greater than 9 % significantly reduces the extensibility by

36.26 ... 76.47 % compared to the control. The introduction of hydrobiont adjuncts allows to improve the flour gluten quality even at adding 1.5% of adjuncts by 3.45 ... 10.84 % compared to the control, the index of FDM increases. Adding 4.5 % of the adjuncts for clams hydrolyzate and duckweed increases the amount of gluten by 2.92...6.25 % and the addition of cystoseira and laminaria reduces the yield of raw gluten by 2.58...9.89 %.

**Conclusions.** Thus, the conducted researches have shown that the hydrobiont adjuncts strengthen the gluten of the dough, reduce the extensibility index and the FDM index, and along with the additions of cystoseira and laminaria reduce the content of crude gluten. In the opinion of the authors, the most rational interval for the administration of the studied adjuncts is 3...9 % of the flour mass.

**Key words:** bakery products; flour; gluten; hydrobionts; algae; clams hydrolyzate.

Fig.: 3. Bibl.: 11.

УДК 664.64.022.39

Дмитрий Крамаренко, Владимир Дуб

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ГИДРОБИОНТОВ НА СВОЙСТВА КЛЕЙКОВИНЫ ПШЕНИЧНОЙ МУКИ

Хлебобулочные изделия являются одними из важнейших продуктов питания. Большая усвояемость хлебобулочных изделий связана с особенностью их химического состава и благоприятным состоянием веществ, которые входят в состав. Химический состав хлебобулочных изделий несовершенен и нуждается в улучшении за счет обогащения хлебобулочных изделий новым нетрадиционным сырьем. Также важной проблемой является улучшение качества клейковины муки за счет новых добавок.

Работа посвящена исследованию влияния добавок из гидробиионтов растительного и животного происхождения на качество клейковины пшеничной муки. Авторами исследовано влияние добавок гидробиионтов на показатели растяжимости, сжимаемости и выхода сырой клейковины.

**Ключевые слова:** хлебобулочные изделия; мука; клейковина; гидробиионты; водоросли; гидролизат из моллюсков.

Рис.: 3. Библ.: 11.

**Крамаренко Дмитро Павлович** – кандидат технічних наук, докторант, доцент кафедри технологій виробництва і професійної освіти, Луганський національний університет ім. Т. Шевченка. (пл. Гоголя, 1, м. Старобільськ, 92703, Україна).

**Крамаренко Дмитрий Павлович** – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры технологий производства и профессионального образования, Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко (пл. Гоголя, 1, г. Старобельск, 92703, Украина).

**Kramarenko Dmytro** – PhD in Technical Sciences, Doctoral, Associate Professor Department of production technology and vocational education, Lugansk Taras Shevchenko National University (1 Gogol Square, 92703, Starobilsk, Ukraine).

**E-mail:** kramarenko\_dp@ukr.net, kramarenkodp@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1353-686X>

**Дуб Володимир Васильович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри устаткування харчової і готельної індустрії ім. М. І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Дуб Владимир Васильевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М. И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Dub Vladimir** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department Equipment for Food and Hospitality Industry it. M. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkovsky Str., 61051, Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** vvdub7@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2078-4426>

**РОЗЧИННІСТЬ ПРОДУКТІВ ДЛЯ ЕНТЕРАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ**

**Актуальність теми дослідження.** Важливою умовою формування та підтримки здоров'я людини є забезпечення організму повноцінним харчуванням. Особливої важливості ця проблема набуває при лікуванні людей із певними захворюваннями та травмами, що супроводжуються метаболічними змінами.

**Постановка проблеми.** Для розроблення практичних рекомендацій щодо споживання продуктів для ентерального харчування та обґрунтування оптимальних умов їх зберігання доцільним є дослідження показників їх розчинності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням проблеми створення продуктів для ентерального харчування присвячено роботи науковців Т. Попової, Т. Ш. Тамазашвілі, І. Лейдермана, D. Heyland, A. Griffiths, P. Grasdalen та ін.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Значна кількість іноземних та вітчизняних праць присвячені дослідженням розчинності сухих молочних продуктів та продуктів з комбінованим складом. Однак майже відсутні наукові дослідження показників розчинності та мікроструктури продуктів для ентерального харчування, що, враховуючи багатокомпонентність їх складу та способи споживання, є досить важливим.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження показників розчинності продуктів для ентерального харчування з метою розроблення рекомендацій для їх раціонального споживання.

**Виклад основного матеріалу.** Враховуючи багатокомпонентність складу розроблених продуктів, необхідним є дослідження їх здатності до розчинення. Відзначено візуалізацію різних за розмірами частинок, які представлені складовими компонентами продуктів (білком молочної сироватки, амінокислотами, вуглеводами, жирною складовою, вітамінними та мінеральними комплексами тощо). За результатами проведеного дослідження визначено, що найбільшими за середніми розмірами частинок досліджуваних продуктів є фракції: від 51 до 90 мкм, від 91 до 110 мкм та від 111...130 мкм, а у контрольних зразках переважають фракції з більшим розміром частинок (від 130 до 350 мкм). Встановлено, що фракції розміром до 29 мкм наявні лише у продуктах «Vitalprod-Renal» (1,7 %) та «Vitalprod-Diabet» (10,5 %).

У процесі проведення досліджень розчинності продуктів встановлено, що найбільше значення показника відносної швидкості розчинення при температурі води 50...60 °C, мають досліджувані продукти «Vitalprod-Combi», «Vitalprod-Diabet», «Vitalprod-Renal», децю нижчий показник швидкості розчинення у продукті «Vitalprod-Forte» – 86 %. Індекс розчинності досліджуваних зразків продуктів коливається від 0,08 см<sup>3</sup> до 0,17 см<sup>3</sup> сирового осаду в контрольному зразку 2.

**Висновки.** Таким чином, встановлені раціональні параметри розчинення продуктів для ентерального харчування: температура – 15...60 °C для відновлення підготовленою питною водою у співвідношенні «продукт–вода» 1:4.

**Ключові слова:** продукти для ентерального харчування; розчинність; індекс розчинності; мікроструктура; волюгість; фракція; швидкість розчинення.

Табл.: 1. Рис.: 2. Бібл.: 10.

**Постановка проблеми.** Важливою умовою формування та підтримки здоров'я людини є забезпечення організму повноцінним харчуванням. Особливої важливості ця проблема набуває при лікуванні людей із певними захворюваннями та травмами, що супроводжуються метаболічними змінами. Вибір продуктів для ентерального харчування залежить від ступеня харчової недостатності, характеру і тяжкості перебігу захворювання, ступеня збереженості функцій шлунково-кишкового тракту хворого [1]. Для розроблення практичних рекомендацій щодо споживання продуктів для ентерального харчування та обґрунтування оптимальних умов їх зберігання доцільним є дослідження показників їх розчинності.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженням проблеми створення продуктів для ентерального харчування присвячено роботи науковців Т. Попової, Т. Ш. Тамазашвілі, І. Лейдермана, D. Heyland, A. Griffiths, Grasdalen P. та ін. [2–5].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Значна кількість іноземних та вітчизняних праць присвячені дослідженням розчинності сухих молочних продуктів та продуктів з комбінованим складом. Однак майже відсутні наукові дослідження показників розчинності та мікроструктури продуктів для ентерального харчування, що враховуючи багатокомпонентність їх складу та способи споживання є досить важливим.

**Мета статті.** Метою роботи є дослідження показників розчинності продуктів для ентерального харчування з метою розроблення рекомендацій для їх раціонального споживання.

Завданнями роботи є дослідження мікроструктури продуктів для ентерального харчування та показників їх розчинності.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єкти дослідження – розроблені продукти для ентерального харчування серії «Vitalprod», призначені для хворих з певними захворюваннями, зокрема:

– продукти для ентерального харчування хворих у критичних станах «Vitalprod-Combi»;

- продукти для ентерального харчування людей з порушеною толерантністю до глюкози «Vitalprod-Diabet»;
- продукти для ентерального харчування хворих з онкологічними захворюваннями «Vitalprod-Forte»;
- продукти для ентерального харчування хворих з нирковою недостатністю «Vitalprod-Renal».

Продукти являють собою сухі розчинні суміші.

Як контрольні зразки обрано: продукт «Resourse Optimum» виробництва компанії «Nestle» (Швейцарія) - контроль 1; продукт «Реабілакт» вітчизняного виробництва - ТОВ «ДелМас» (Київська обл.) – контроль 2.

Визначення мікроструктури продуктів для ентерального харчування проводили мікроскопу растрового оптичного Micro-measure BW-400X з роздільною здатністю 1280×1024Px. Обробку мікрофотографій здійснювали за спеціальною програмою Micro-Measure. Дослідження фізико-хімічних показників здійснювали з використанням стандартизованих методів дослідження [6–10].

З фізико-хімічних показників у сухих розчинних продуктах для ентерального харчування було визначено масову частку вологи та зольність (табл.).

Таблиця

*Фізико-хімічні показники сухих розчинних продуктів  
для ентерального харчування*

$P \geq 0,95$ ,  $n=15$

Показник	Продукти для ентерального харчування					
	Контроль 1	Контроль 2	Vitalprod-Combi	Vitalprod-Diabet	Vitalprod-Forte	Vitalprod-Renal
Масова частка вологи, %	$6,36 \pm 0,04$	$4,08 \pm 0,03$	$5,07 \pm 0,02$	$4,28 \pm 0,03$	$5,06 \pm 0,02$	$6,25 \pm 0,08$
Зольність, %	$2,692 \pm 0,016$	$2,411 \pm 0,014$	$2,492 \pm 0,016$	$3,022 \pm 0,016$	$2,759 \pm 0,008$	$2,034 \pm 0,016$

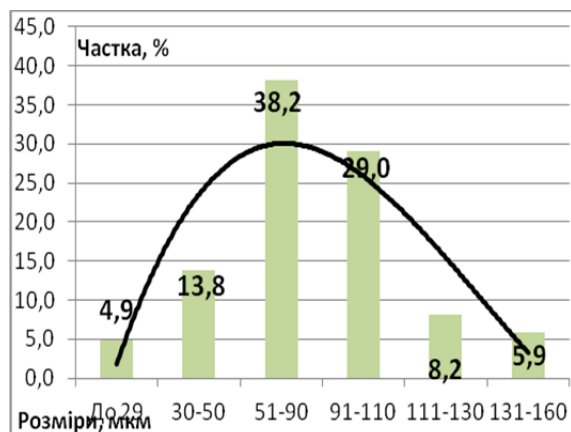
У результаті проведеного дослідження було встановлено, що масова частка вологи досліджених продуктів знаходиться в межах 4,08...6,36 %. Коливання значень цього показника, ймовірно, можна пояснити різною вологістю використаних сировинних компонентів.

Зольності досліджуваних продуктів, яка характеризує наявність мінеральних сполук і у першу чергу обумовлена використаними мінеральними добавками та іншими сировинними компонентами, знаходиться в межах 3,022...2,034 % та свідчить, що розроблені продукти характеризуються достатньо високим їх вмістом.

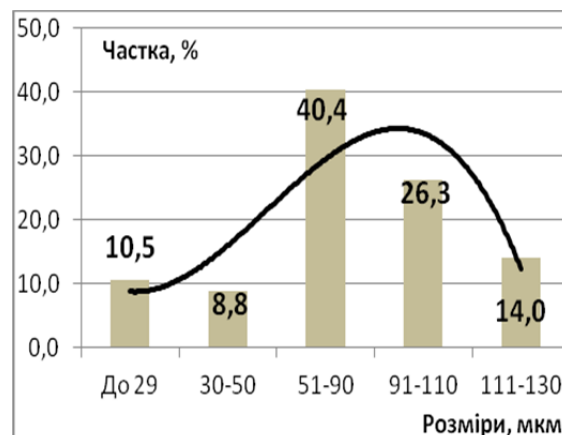
Розроблені продукти для ентерального харчування являють собою систему, яка складається з частинок різної форми та розміру, а також включень повітря, вміст якого може змінюватися при механічній дії на продукт. Враховуючи багатоконпонентність складу продуктів, необхідним є дослідження їх здатності до розчинення, що є важливим, враховуючи спосіб використання продуктів, для розроблення рекомендацій з їх споживання. Проведено дослідження щодо мікроструктури продуктів для ентерального харчування. Результати досліджень надають уяву про певну глибину й напрямок розчинності продуктів. Відзначено візуалізацію різних за розмірами частинок, які представлені складовими компонентами продуктів (білком молочної сироватки, амінокислотами, вуглеводами, жирною складовою, вітамінними та мінеральними комплексами тощо). Мікрорельєф структури підтверджує, що багато часток продуктів мають на поверхні характерні впадини, чисельність та розміри яких підтверджують механічну цілісність поверхні продукту, його високий ступінь розчинення.

З метою кількісного визначення розподілу фракцій складових продуктів за розмірами здійснено дисперсійний аналіз на основі обробки мікрофотографій частинок продуктів, отриманих за допомогою електронного мікроскопу. Після отримання й обробки фотографій було визначено еквівалентний діаметр основних частинок, який визначали шляхом вимірювання довжини і ширини (рис. 1).

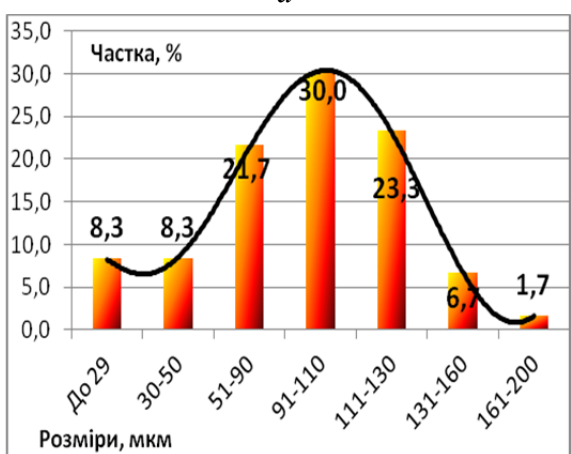




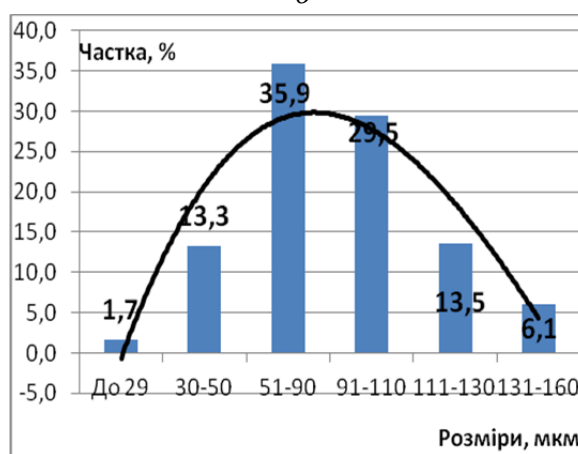
а



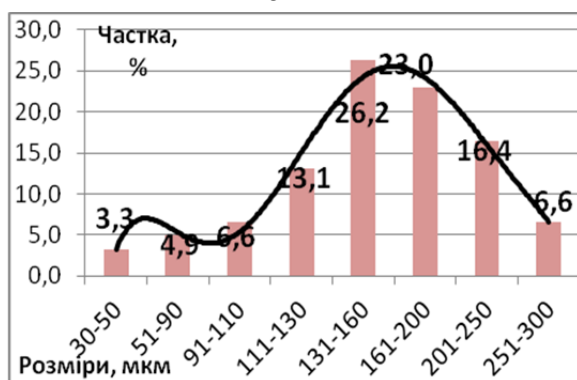
б



в



г



д



е

Рис. 1. Диференційні криві розподілу частинок за розмірами у продуктах для ентерального харчування:

а – Продукт «Vitalprod-Combi»; б – Продукт «Vitalprod-Diabet»; в – Продукт «Vitalprod-Forte»; г – Продукт «Vitalprod-Renal»; д – Контроль 1; е – Контроль 2

За результатами проведеного дослідження визначено, що найбільшими за середніми розмірами частинок досліджуваних продуктів є фракції: від 51 до 90 мкм (найбільша питома визначено у продуктах «Vitalprod-Diabet» та «Vitalprod-Combi» (38,2 та 40,4 %), від 91 до 110 мкм (у досліджуваних зразках питома вага фракцій коливається від 26,3 % у продукті «Vitalprod-Diabet» до 30 % у зразку «Vitalprod-Forte») та від 111...130 мкм (від 15,9 % у контролі 2 до 8,2 % у «Vitalprod-Combi»), а у контрольних зразках переважають фракції з більшим розміром частинок (від 130 до 350 мкм).

Встановлено, що фракції розміром до 29 мкм наявні лише у продуктах «Vitalprod-Renal» (1,7 %) та «Vitalprod-Diabet» (10,5 %). Найбільша питома вага фракції частинок від 30 до 50 мкм зафіксовано у продукті «Vitalprod-Combi» (13,8 %), а найнижче значення у контрольному зразку 1 (3,3 %).

У контрольних зразках продуктів відзначено наявність великих частинок у кількості 16,4 % (контрольний зразок 1) та 10,1 % (контрольний зразок 2) розміром від 201 до 250 мкм; 6,6 та 4,5 % відповідно розміром від 251 до 300 мкм, а у контрольному зразку 2 виявлено 2,7 % частинок розміром більше 300 мкм. Визначено, що такий розмір частинок забезпечує вільне проходження продуктів через зонд. Апробацію продуктів проводили на зондах з внутрішнім діаметром трубок 3 і 6 мм.

Розчинність продукту характеризує повноту розчинення його складових компонентів. Швидкість і повнота розчинення продуктів залежить від їх властивостей, способу та режиму розчинення, властивостей і параметрів середовища (рідкої основи), у якому здійснюють процес розчинення [10]. Як розчинник для відновлення сухих продуктів для ентерального харчування використовували воду питну. Діапазон температур (від 15 до 60) °C обрано з урахуванням рекомендацій щодо споживання напоїв у медичних закладах та температури розчинення компонентів продуктів. Встановлено, що ступінь розчинення продуктів знаходиться в прямій залежності від температури води. Найменший ступінь розчинення продуктів спостерігається при 15 °C і дорівнює в середньому 28...39 %. При збільшенні температури води до 45 °C ступінь розчинення швидко зростає, а в інтервалі температур 50...60 °C процес сповільнюється. Повне розчинення продуктів спостерігається при температурі 50...60 °C. Тому згідно з отриманими експериментальними даними доцільним є використання для відновлення сухих розчинних продуктів воду з температурою в діапазоні 15...60 °C. Відновлення продуктів при більш високій температурі є недоцільним, оскільки веде до зміни білкової складової продуктів та збільшення енерговитрат. При проведенні досліджень розчинності продуктів встановлено, що найбільше значення показника відносної швидкості розчинення при температурі води 50...60 °C, мають досліджувані продукти «Vitalprod-Combi», «Vitalprod-Diabet», «Vitalprod-Renal» (100, 97, 96 % відповідно), дещо нижчий показник швидкості розчинення у продукті «Vitalprod-Forte» 86 % (що гіпотетично зумовлено нижчою розчинністю використаного у складі екстракту лимона, цитрулін малату). Контрольні зразки мають значення показника швидкості розчинення на рівні 95 та 95 % відповідно, що очевидно зумовлено використаними у складі продуктів компонентами з низьким значенням показника розчинності (використаних білків, солей мінеральних речовин тощо).

Індекс розчинності досліджуваних зразків продуктів коливається від 0,08 см<sup>3</sup> (продукт Vitalprod-Combi) до 0,17 см<sup>3</sup> сирого осаду в контрольному зразку 2 (рис. 2). Зміна температури води значно не вплинула на цей показник: він залишився на початковому рівні.

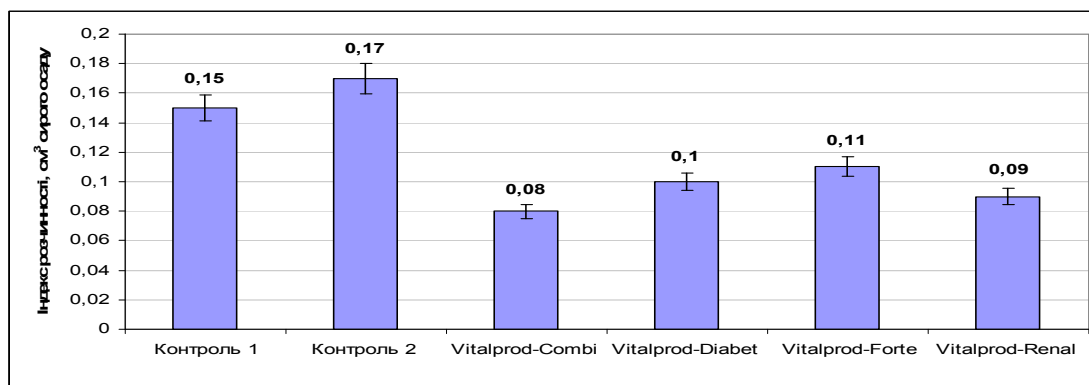


Рис. 2. Індекс розчинності сухих розчинних продуктів для ентерального харчування

Отримані дані кореспондують з результатами досліджень мікроструктури продуктів. Так, більшу розчинність мають продукти, у яких переважають частки розмірами 51...90 та 91...110 мкм. При збільшенні розміру часток понад 130 мкм швидкість розчинення стрімко падає. Оболонки великих частин при змочуванні набрякають, тим самим запобігаючи проникненню рідини всередину. А при розчиненні дрібнодисперсних часток утворюється насичений в'язкий шар, який запобігає контакту інших часток з водою, тому частки розміром 20...40 мкм мають нижчий показник розчинності.

Таким чином, встановлені раціональні параметри розчинення продуктів для ентерального харчування: температура – 15...60 °C для відновлення підготовленою питною водою у співвідношенні «продукт–вода» 1:4.

Процес відновлення залежить не лише від фізичних чинників, а й від механічних. Існує три способи розчинення продукту: змішування в ємності підготовленої води при додаванні необхідної маси продукту; змішування сухої суміші при додаванні води; поступове змішування сухої суміші з водою.

Для аналізу розчинності розроблених продуктів було досліджено характер конвекційних потоків, у які потрапляють компоненти продукту при додаванні води до продукту. Встановлено, що швидкість інверсії у більшості фракцій досліджуваних продуктів є більшою, ніж швидкість конвекції. Зокрема, різниця швидкостей інверсії та конвекції у фракції продуктів розмірами частинок 111...160 мкм становить 2,7...4,5 мм/с, у фракції розмірами 51...110 мкм – 0,4...2,4 мм/с, 29...50 мкм – 0,6...2,5 мм/с. Така різниця швидкостей є незначною, що дає підстави стверджувати про стабільність та однорідність складу продуктів, їх гарну розчинність. Разом з цим у контрольному зразку 1 у фракції розмірами 30...90 мкм, у контрольному зразку 2 у фракції розмірами 50...130 мкм та у продукті «Vitalprod-Diabet» у фракції розмірами 51...110 мкм встановлено більшу швидкість конвекції, що можна пояснити наявністю більшої кількості компонентів органічного походження та особливостями обтікання їх течією води. Водночас різниця швидкостей інверсії та конвекції у зазначених фракціях продуктів є незначною (1,2...3,1 мм/с), що свідчить про стабільність структурно-механічних властивостей продуктів.

**Висновки і пропозиції.** Таким чином, встановлені раціональні параметри розчинення продуктів для ентерального харчування: температура – 15...60 °C для відновлення підготовленою питною водою у співвідношенні «продукт–вода» 1:4. У подальшому актуальним є проведення фізико-хімічних, структурно-механічних досліджень якості продуктів для ентерального харчування у готовому до споживання вигляді.

#### Список використаних джерел

1. Попова Т. С. Парентеральное и энтеральное питание в хирургии / Т. С. Попова, Т. Ш. Тамазашвили, А. Е. Шестопалов. – М. : Медицина, 1996. – 198 с.
2. Lochs H. ESPEN guidelines on adult enteral nutrition / H. Lochs, L. Valentini, S. Allison et al. // Clinical Nutrition. – 2006. – No. 25. – Pp. 177–360.
3. Heyland D. K. Enteral nutrition in the critically ill patient: a critical review of the evidence / D. K. Heyland, D. J. Cook, G. H. Guyatt // Intensive Care Medicine. – 1993. – No. 19. – Pp. 435–442.
4. Griffiths A. Meta-analysis of enteral nutrition / A. Griffiths, A. Ohisson, P. Sherman // Gastroenterology. – 1995. – Vol. 108, no. 4. – Pp. 56–67.
5. Food and Nutrition Communication. 2006 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.nestle.com/asset-library/Documents/Library/Documents/Nutrition\\_Health\\_Wellness/Food-and-Nutrition-Apr2006.pdf](http://www.nestle.com/asset-library/Documents/Library/Documents/Nutrition_Health_Wellness/Food-and-Nutrition-Apr2006.pdf).
6. Шаповал С. Л. Методичні рекомендації до виконання науково-дослідних робіт з використанням універсального вимірювального комп'ютерного приладу / С. Л. Шаповал, Н. П. Форостяна, Р. П. Романенко. – К. : КНТЕУ, 2017. – 6 с.
7. Гаврилова Н. Н. Микроскопические методы определения размеров частиц дисперсных материалов : учеб. пособие / Н. Н. Гаврилова, В. В. Назаров, О. В. Яровая. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 52 с.

8. Продукты молочные для детского питания. Метод определения индекса растворимости : ГОСТ 30648.6-99. – [Действующий с 2000–10–01]. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1999. – 7 с.

9. Найдено В. І. Фізика та методи дослідження сировини і матеріалів / В. І. Найдено. – К., 2004. – 509 с.

10. Рогов И. А. Химия пищи : учебник / И. А. Рогов, Л. В. Антипова, Н. И. Дунченко – М. : Колос С, 2007. – 853 с.

### References

1. Popova, T.S. & Tamazishvili, T.Sh. & Shestopalov, A.E. (1996). *Parenteralnoe i enteralnoe pitaniye v khirurgii [Parenteral and enteral nutrition in surgery]*. Moscow: Meditsina (in Russian).

2. Lochs, H. & Valentini, L. & Allison, S. et al. (2006). ESPEN guidelines on adult enteral nutrition. *Clinical Nutrition*, 25, 177–360.

3. Heyland, D. K. & Cook, D. J. & Guyatt, G. H. (1993). Enteral nutrition in the critically ill patient: a critical review of the evidence. *Intensive Care Medicine*, 19, 435–442.

4. Griffiths, A. & Ohisson, A. & Sherman, P. (1995). Meta-analysis of enteral nutrition. *Gastroenterology*, 108 (4), 56–67.

5. Food and Nutrition Communication. 2006. Retrieved from [http://www.nestle.com/asset-library/Documents/Library/Documents/Nutrition\\_Health\\_Wellness/Food-and-Nutrition-Apr2006.pdf](http://www.nestle.com/asset-library/Documents/Library/Documents/Nutrition_Health_Wellness/Food-and-Nutrition-Apr2006.pdf).

6. Shapoval, S.L. & Forostyana, N.P. & Romanenko, R.P. (2017). *Metodychni rekomendatsii do vykonannya naukovykh robot z vykorystannyam universalnoho vymiryvalnoho kompiuternoho pryladu [Methodical recommendations on performing research works using the all-purpose measuring computer device]*. Kyiv: KNTEU (in Ukrainian).

7. Gavrilova, N.N. & Nazarov, V.V. & Yarovaya, O.V. (2012). *Mikroskopicheskiye metody opredeleniya razmerov chastitsy dispersnykh materialov [Microscopic methods for measuring the sizes of the particles of dispersible materials]*. Moscow: Mendeleyev Russian University of Chemical Technology (in Russian).

8. Продукты молочные для детского питания. Метод определения индекса растворимости: ГОСТ 30648.6-99 [Deystvuyushchiy s 2000–10–01] [Dairy products for children nutrition. Method for measurement of solubility index: State Standard 30648.6-99]. Minsk: Interstate Council on Standardization, Metrology and Certification, 1999 (in Russian).

9. Naydenko, V.I. (2004). *Fizyka i metody doslidzhennia syrovyny i materialiv [Physics and methods for testing raw materials and supplies]*. Kyiv (in Ukrainian).

10. Rogov, I.A. & Antipova, N.I. Dunchenko, N.I. (2007). *Khimia pishchi [Chemistry of food]*. Moscow: Kolos C (in Russian).

UDC 613.2.032.33

Iuliia Motuzka, Elena Romanenko, Svetlana Kazachenko

### THE SOLUBILITY OF PRODUCTS FOR ENTERAL NUTRITION

**Urgency of the research.** An important condition for the formation and maintenance of human health is the provision of the body with a complicated nutrition. Especially important this problem is in the process of people with certain diseases and injuries, accompanied by metabolic changes treatment.

**Target setting.** It's advisable to study solubility indexes of products for enteral nutrition for the development of practical recommendations for the consumption of foods and substantiation of optimal conditions for their storage.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The research of the problems of creating products for enteral nutrition is devoted to the work of scientists T. Popova, Tamazashvili T.Sh., I.Ledermerman, D. Heyland, A.Griffiths, Grasdalen R. et al.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** A significant number of foreign and domestic works are devoted to studies on the solubility of dry dairy products and products with combined composition. However, there are almost no scientific studies of the solubility and microstructure of enteral nutrition products, which, given the multicomponent composition and consumption patterns, are very important.

**The research objective.** The aim of work is the research of products for enteral nutrition solubility in order to develop recommendations for their rational consumption.

**The statement of basic materials.** Taking into account the multicomponent composition of developed products, it is necessary to study their dissolving ability. The visualization of different particle sizes, which is represented by the constituent components of the product (protein of whey, amino acids, carbohydrates, fatty component, vitamin and mineral complexes, etc.), is noted. According to the results of the study, it was determined that the largest particle size of studied products is the fractions: from 51 to 90  $\mu\text{m}$ , from 91 to 110  $\mu\text{m}$  and from 111 to 130  $\mu\text{m}$ , and in the control samples fractions the particles size is from 130 to 350  $\mu\text{m}$ . It has been researched that fractions up to 29  $\mu\text{m}$  are available only in the "Vitalprod-Renal" (1.7 %) and "Vitalprod-Diabet" (10.5 %).

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*It was found that for the studied products "Vitalprod-Combi", "Vitalprod-Diabet", "Vitalprod-Renal" the greatest value of relative dissolution rate indicator is at 50-60 °C water temperature. A slightly lower (86 %) the dissolution rate is for the product "Vitalprod-Forte". The solubility index of the studied product samples varies from 0.08 cm<sup>3</sup> to 0.17 cm<sup>3</sup> of the crude precipitate.*

**Conclusions.** Thus, rational parameters of dissolution of products for enteral nutrition are established: the temperature of prepared drinking water should be 15-60 °C, "product-water" ratio – 1:4.

**Key words:** products for enteral nutrition; solubility; solubility index; microstructure; dissolution rate.

Tabl.: 1. Fig.: 2. Bibl.: 10.

УДК 613.2.032.33

Юлія Мотузка, Елена Романенко, Светлана Казаченко

## РАСТВОРИМОСТЬ ПРОДУКТОВ ДЛЯ ЭНТЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

*Для разработки практических рекомендаций по потреблению продуктов для энтерального питания и обоснования оптимальных условий их хранения целесообразно исследовать показатели их растворимости. Установлено, что частицы компонентов, входящих в состав продуктов, компактно размещаются друг относительно друга, что уменьшает потребность в таре при их транспортировке и хранении. Установлены рациональные параметры растворения продуктов для энтерального питания: температура - 15-60 °C для восстановления подготовленной питьевой водой в соотношении «продукт-вода» 1:4. В дальнейшем актуальным является проведение физико-химических, структурно-механических исследований качества продуктов для энтерального питания в готовом к употреблению виде.*

**Ключевые слова:** продукты для энтерального питания; растворимость; индекс растворимости; микроструктура; влажность; фракция; скорость растворения.

Tabl.: 1. Рис.: 2. Библ.: 10.

**Мотузка Юлія Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства, управління безпекою та якістю Київського національного торговельно-економічного університету (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Мотузка Юлія Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры товароведения, управления качеством и безопасностью Киевского национального торгового-экономического университета (ул. Киото 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Motuzka Iuliia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Commodity Science, Management of Safety and Quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0400-6445>

**Романенко Елена Валерійвна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства, управління безпекою та якістю Київського національного торговельно-економічного університету (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Романенко Елена Валериевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры товароведения, управления качеством и безопасностью Киевского национального торгового-экономического университета (ул. Киото 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Romanenko Olena** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Commodity Science, Management of Safety and Quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1804-1225>

**Казаченко Світлана Володимирівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри товарознавства, управління безпекою та якістю Київського національного торговельно-економічного університету (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Казаченко Светлана Владимировна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры товароведения, управления качеством и безопасностью Киевского национального торгового-экономического университета (ул. Киото 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Kazachenko Svetlana** – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Commodity Science, Management of Safety and Quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** kazachtanko.svetlana@gmail.com

УДК 54.06:661.11

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-210-216

Тетяна Пилипенко, Юлія Рябчун, Вероніка Єфімова

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ КОСМЕТИЧНИХ КРЕМІВ ДЛЯ РУК**

**Актуальність теми дослідження.** Зважаючи на досить широкий асортимент косметичних кремів по догляду за шкірою рук як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлених на споживчому ринку України, оцінювання якості та безпечності їх використання є актуальним питанням сьогодення.

**Постановка проблеми.** Важливим етапом під час оцінювання якості та безпечності використання косметичних кремів по догляду за шкірою рук є аналіз їх композиційних складових, визначення основних фізико-хімічних показників, нормованих державним стандартом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вирішенню наукових і практичних питань, пов'язаних із дослідженням якості та безпечності косметичних продуктів, присвячені роботи багатьох учених та практиків.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** У літературних джерелах відсутні систематичні дослідження складових косметичних кремів для рук, відомості про безпечність їх використання, рН середовища, вміст води та летких речовин, колоїдну стабільність та термостабільність.

**Постановка завдання.** Метою роботи було оцінювання та порівняння якості і безпечності використання косметичних кремів по догляду за шкірою рук як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлених на сьогодні на споживчому ринку України.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено аналіз композиційних складових та основних фізико-хімічних показників якості косметичних кремів по догляду за шкірою рук вітчизняного та закордонного виробництва, представлених на сьогодні на споживчому ринку України. Вимірюваннями електрокінетичного потенціалу та квантово-хімічними розрахунками основних реакційних центрів молекул складових композицій досліджених косметичних систем підтверджено їх колоїдну стабільність.

**Висновки.** За основними фізико-хімічними показниками якості косметичних кремів для рук, які представляють споживачам як косметичні продукти на натуральній основі (рослинний догляд за шкірою рук), встановлено, що досліджені зразки відповідають нормованим державним стандартом значенням; за аналізом композиційних складових у досліджених кремах виявлено інгредієнти, небезпечні для алергіків та людей з чутливою шкірою рук.

**Ключові слова:** косметичний крем; фізико-хімічні показники якості; колоїдна стабільність; електрокінетичний потенціал; квантово-хімічні розрахунки.

Табл.: 1. Бібл.: 10.

**Вступ.** На споживчому ринку України представлено досить широкий асортимент косметичних кремів по догляду за шкірою рук як вітчизняного, так і закордонного виробництва. Оцінювання якості та безпечності їх використання є актуальним питанням сьогодення. Експертизу косметичних продуктів проводять за різними показниками [1-5]. Серед основних фізико-хімічних показників якості косметичної продукції (креми косметичні), які нормуються державним стандартом [1], виділяють:

- рН середовища;
- вміст (масову частку) води та летких речовин;
- колоїдну стабільність;
- термостабільність.

Досить поширеними на косметичному ринку є емульсійні креми, що характеризуються високою косметичною ефективністю [6]. У таких косметичних системах не повинна відокремлюватись водна чи жирова фази протягом гарантійного терміну їх зберігання та при зміні температури навколишнього середовища. Для встановлення стабільності косметичних кремів використовують два методи [1; 2]. Перший полягає у визначенні колоїдної стабільності шляхом центрифугування, другий – у визначенні термостабільності за різних температур. Крем вважається стабільним, якщо після його досліджень не спостерігається виділення водної чи жирової фази (розшарування або виділення осаду).

До основних фізико-хімічних показників якості косметичних кремів відносять вміст води та летких речовин, наявних у їх складі, який за нормованим значенням масової частки має становити 5,0...98,0 %.

Косметичні креми – це багатокомпонентні системи, до складу яких додають різні речовини, що впливають на значення водневого показника рН кремів. Кислі креми (рН нижче 4,5), так само як і занадто лужні (рН вище 8,5), чинять негативну дію на шкіру. Тому визначення водневого показника такого типу засобів є також важливим етапом

під час оцінювання їх якості та безпечності використання. Нормоване значення рН середовища для косметичних кремів – 5,0...9,0 одиниць.

**Мета роботи.** Зважаючи на широкий асортимент косметичних кремів по догляду за шкірою рук як вітчизняного, так і закордонного виробництва, представлених на сьогодні на споживчому ринку України, головною метою роботи є оцінювання та порівняння якості і безпечності їх використання.

**Методика досліджень.** Для експериментальних досліджень якості та безпечності використання косметичних продуктів по догляду за шкірою рук було відібрано зразки торговельних марок (ТМ) вітчизняного та закордонного виробництва:

Зразок 1 – Крем для рук ТМ «Амальгама Люкс», Україна.

Зразок 2 – Крем для рук ТМ «MEDISKIN», Ізраїль.

Визначення основних фізико-хімічних показників якості досліджуваних засобів:

- рН середовища;
- масової частки ( $\omega$ , %) води та летких речовин;
- колоїдної стабільності;
- термостабільності

проводили поетапно відповідно до стандартизованих методик [1].

Методом електрофорезу [7] за системою ZetaPlus (аналізатор  $\xi$ (дзета)-потенціалу від компанії Brookhaven Instruments) визначали електрокінетичний потенціал досліджуваних косметичних систем.

Квантово-хімічними розрахунками (КХР) розподілу зарядів у молекулах композиційних складових кремів їх геометрії оптимізовували методом B3LYP [8] із використанням стандартного базису 6-31G у межах пакета програм GAUSSIAN [9].

**Результати досліджень та їх обговорення.** Аналіз композиційних складових досліджених зразків косметичних кремів, зазначених на маркуванні виробників їх упаковки, показав, що вони є багатокомпонентними системами наступного складу.

Зразок 1 (відносно дешевий косметичний продукт).

1. Вода.

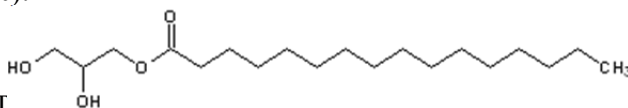
Основа для крему. Зволожує та живить шкіру, насичує її необхідними мікроелементами, зміцнює і тонізує.

2. Рослинна олія.

Живить, пом'якшує, зволожує, підвищує тонус, пружність та еластичність шкіри, а також запобігає її старінню.

3. Гліцерин.

Акумулює вологу на ділянках шкіри, за рахунок проникнення в епідерміс робить шкіряний покрив більш м'яким та зволженим. Враховуючи те, що гліцерин змішується з водою у співвідношенні 10:1 [6], і такий баланс може підтримуватись за умови вологості повітря близько 65 %, він починає вбирати вологу з шарів шкіри, висушуючи її, застосування крему з гліцерином має відповідні обмеження (оптимальний рівень вологості повітря 45...65 %).



4. Гліцерил стеарат

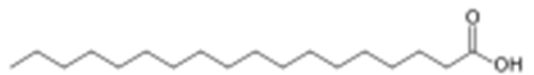
Емульгатор, оксигеновмісна речовина, яка покращує утворення емульсії, перешкоджаючи її диспергуванню, а також розширюванню компонентів косметичного засобу, збільшує термін його придатності. Запобігає зневодненню шкіри.

5. Емульсійний віск.

Підвищує стабільність емульсії, сприяє рівномірному розподілу УФ-фільтрів. У концентраціях 2...3 % проявляє найбільшу стабільність емульсії у поєднанні з іншими емульгаторами [5; 6].

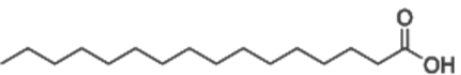


## 6. Стеаринова кислота



Емульгатор, оксигеновмісна речовина, яка виконує функцію моделювання консистенції косметичного крему, рівномірного розподілу його інгредієнтів, відповідає за стабілізацію емульсії. Пом'якшує шкіру, утворює тонку плівку на її поверхні, що запобігає зневодненню шкіри.

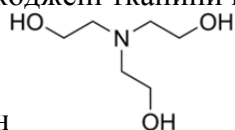
## 7. Пальмітинова кислота



Емульгатор, загущувач, оксигеновмісна речовина, що належить до ряду жирних кислот. Захищає суху шкіру від обвітрювання, УФ-променів та обмороження.

## 8. Екстракт подорожника.

Композиційна складова, що виконує протизапальну, ранозагоючу та бактерицидну дію. Регенерує пошкоджені тканини шкіри, пом'якшує та тонізує її.

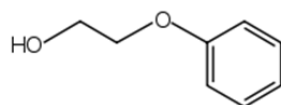


## 9. Триетаноламін

Стабілізатор, регулятор кислотності, консервант, що збільшує термін зберігання косметичного крему. Застосовується як маскуюча нітроген- та оксигеновмісна речовина для ароматизаторів та поверхнево активних речовин.

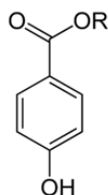
## 10. Віддушка.

Надає приємного аромату косметичному засобу.



## 11. Феноксietанол

Консервант, антибактеріальна оксигеновмісна речовина, фіксатор віддушок. За підвищених концентрацій у кремі проявляє сильний подразнюючий ефект. Використовується у поєднанні з іншими консервантами (парабенами), оскільки погано діє на грибові бактерії. Застосування косметичних продуктів за наявності у них феноксietанолу не рекомендується для алергіків, людей з чутливою шкірою [10].



12. Парабени – метилпарабен, етилпарабен, бутилпарабен, пропілпарабен, ізобутилпарабен.

Консерванти, що характеризуються антисептичним ефектом.

На маркуванні виробника дослідженого зразка зазначено – крем для рук на натуральній основі, що проявляє зволожуючі властивості, живить шкіру, відновлює її, запобігає старінню, захищає від УФ-променів. При цьому не вказано, яка рослинна олія (чи олії) входять до складу «натурального» крему, що вміщує не дуже корисні для шкіри компоненти (феноксietанол, метилпарабен, етилпарабен, бутилпарабен, пропілпарабен, ізобутилпарабен), здатні негативно впливати на організм людини при повсякденному застосуванні косметичного засобу за наявності у ньому таких інгредієнтів [5; 10].

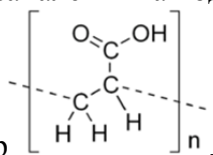
Зразок 2 (недешевий косметичний продукт).

1. Демінералізована вода.
2. Гліцерин.
3. Стеаринова кислота.
4. Диметикон.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Широко використовуваний у складі косметичних продуктів силіконовий полімер, який зменшує запалення та подразнення шкіри.



## 5. Карбомер

Група полімерів, похідних акрилової кислоти. Використовується як оксигеновмісний емульгатор, здатний утворювати стійкі емульсії. Зволожує, освіжає та заспокоює шкіру. До складу косметичних кремів додається у невеликій кількості.

## 6. Уснінова кислота.

Багатофункціональний косметичний інгредієнт, який виділяють із цетрарії (ісландського моху). Характеризується антимікробними властивостями, ефективний проти різних мікробів. Проявляє захисну дію, знімає запалення шкіри, викликані ультрафіолетом.

## 7. Хлорфенезин.

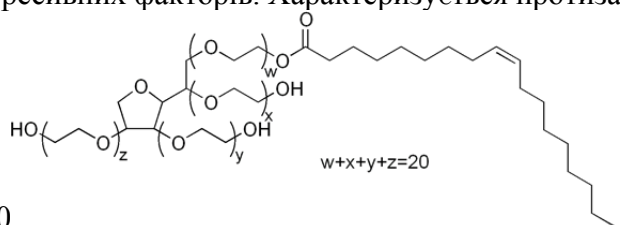
Композиційна складова, що запобігає росту та розмноженню грибків і бактерій.

## 8. Натрій гідроксид.

Регулятор рН косметичного крему.

## 9. Молочна кислота.

Виконує подвійну функцію – як основна складова і як розчинник. Проявляє бактерицидні властивості. Наявність цього компонента в косметичному кремі сприяє вирівнюванню рельєфу поверхні шкіри. Омолоджуючий і ліфтинговий ефект молочної кислоти пов'язаний із здатністю стимулювати процес утворення нових клітин шкіри і фібробластів, які відповідають за вироблення колагену та еластану. Вона є одним із компонентів натурального зволожуючого фактора (NMF) [3; 6]. Антиоксидантні властивості молочної кислоти підсилюють її омолоджуючий ефект, знижуючи вироблення вільних радикалів. Захищає шкіру від агресивних факторів. Характеризується протизапальною дією.



## 10. Полісорбат-20

Використовується як оксигеновмісний емульгатор та стабілізатор косметичного крему.

## 11. Екстракт ісландського моху.

Антиоксидант, консервант, який характеризується протигрибковою та антисептичною дією. Знімає подразнення шкіри та тонізує її. Характеризується протизапальною дією.

## 12. Вітамін Е (токоферол).

Потужний антиоксидант. Ефективно захищає шкіру від старіння та факторів навколишнього середовища. Це також відомий консервант, який вводять до складу косметичних формул з метою захисту молекул композиційних складових від руйнування.

## 13. Віддушка.

На маркуванні виробника дослідженого зразка зазначено – рослинний догляд за шкірою рук. При цьому в композицію косметичної системи не дешевого «рослинного догляду» входять силіконовий полімер, група полімерів, складова хлорфенезин [4; 10].

Аналіз результатів експериментальних досліджень по визначенню основних фізико-хімічних показників якості відібраних засобів по догляду за шкірою рук, зведених у таблицю 1, показав, що їх значення знаходяться в межах допустимої норми [1].

*Характеристика фізико-хімічних показників якості косметичних кремів для рук*

Назва показника / Нормоване значення	Зразки	
	1	2
pH / 5,0-9,0	7,0	7,2
Масова частка води та летких речовин, % / 5,0-98,0	75,5	79,0
Колоїдна стабільність / Стабільна система	стабільна система	стабільна система
Термостабільність / Стабільна система	стабільна система	стабільна система

Значення рН середовища і масова частка води та летких речовин майже не відрізняються як для відносно дешевого (зразок 1), так і дорожчого (зразок 2) косметичного продукту. За колоїдною стабільністю та термостабільністю обидві косметичні системи – стабільні.

Колоїдна стабільність досліджених композицій з урахуванням електрофоретичної рухливості підтверджена і визначальною характеристикою емульсійних систем – електрокінетичним потенціалом ( $\xi$ -потенціал) [7]. Значення  $\xi$ -потенціалу для зразків 1 та 2 дорівнюють відповідно 42 та 45 мВ. Дослідним шляхом встановлено та теоретично розраховано, що 30 мВ – це мінімальне значення електрокінетичного потенціалу, при якому колоїдна система є стійкою. Електрофоретичним розсіюванням світла при електрофорезі визначено напрямок зміщення його частоти у бік позитивно зарядженого електрода (анода), що свідчить про негативний заряд емульгуючих частинок.

Методом квантово-хімічних розрахунків [8; 9] ефективних зарядів на основних реакційних центрах молекул оксигеновмісних емульгаторів, наявних у косметичних системах, що надають їм певний електрокінетичний потенціал, також встановлено негативні заряди на атомах оксигену сполук, які змінюються в діапазоні  $-0,501 \dots -0,783$ . Це означає, що за даними КХР та електрокінетичних визначень стійкість досліджених косметичних систем зумовлена електростатичним фактором їх стабілізації [6; 7], електростатичними силами відштовхування між негативно зарядженими частинками емульсійних складових.

**Висновки.**

1. Встановлено, що за основними фізико-хімічними показниками якості косметичних кремів для рук, які представляються споживачам як косметичні продукти на натуральній основі (рослинний догляд за шкірою рук), досліджені зразки більш дешевого вітчизняного та дорожчого закордонного виробників відповідають нормованим державним стандартам значенням, проте за аналізом їх композиційних складових у них виявлено не дуже корисні для шкіри інгредієнти, небезпечні для алергіків та людей з чутливою шкірою рук.

2. Колоїдна стабільність композицій досліджених косметичних систем підтверджена вимірними значеннями електрокінетичного потенціалу та квантово-хімічними розрахунками ефективних зарядів на основних реакційних центрах молекул їх складових.

**Список використаних джерел**

1. ДСТУ 4765:2007. Креми косметичні. Загальні технічні умови. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 7 с.
2. Хребтань О. Б. Дослідження якості та безпечності косметичних кремів для рук / О. Б. Хребтань, А. М. Кучинська // Вісник Чернігівського державного технологічного ун-ту. Серія: «Технічні науки». – 2012. – № 3 (59). – С. 55–62.
3. Дослідження фізико-хімічних показників якості піномийних косметичних засобів / Т. Пилипенко, О. Чигиринець, В. Воробйова, В. Єфімова // Технічні науки та технології. – 2016. – № 1 (3). – С. 222–228.
4. Вишнікіна О. В. Хімічна експертиза якості косметичних засобів, що імпортуються в Україну / О. В. Вишнікіна, О. А. Лихолат // Вісник Академії митної служби України. Серія: «Технічні науки». – 2009. – № 1. – С. 55–62.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Прокопенко В. П. Дослідження хімічного складу косметичних засобів / В. П. Прокопенко, М. С. Кіркова // Імідж сучасного педагога. – 2013. – № 6. – С. 35–36.
6. Кривова А. Ю. Технология производства парфюмерно-косметических продуктов / А. Ю. Кривова, В. Х. Паронян. – М. : ДеЛи принт, 2009. – 668 с.
7. Колоїдна хімія : [підручник] / М. О. Мchedlov-Петросян, В. І. Лебідь, О. М. Глазкова, О. В. Лебідь. – 2-ге вид., виправл. і доповн. – Х. : ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2012. – 500 с.
8. Becke A. D. // J. Chem. Phys. – 1993. – Vol. 98. – Pp. 5648.
9. Gaussian, Inc., Pittsburgh PA / M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel [and other]. – 1999.
10. Суворов А. В. Справочник по клинической токсикологии / А. В. Суворов. – Нижний Новгород : Изд-во НГМА, 1996. – 180 с.

## References

1. DSTU 4765:2007. *Kremy kosmetychni. Zahalni tekhnichni umovy* [DSTU 4765:2007. *Creams cosmetic. General technical conditions*] (2008). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukraine (in Ukrainian).
2. Khrebtan, O.B. & Kuchynska, A.M. (2012). Doslidzhennia yakosti ta bezpechnosti kosmetychnykh kremiv dlia ruk [Investigation of the quality and safety of hand creams]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho un-tu. Seriya: «Tekhnichni nauky»* – *Visnyk chernihiv state technological university. Series: «Technical sciences»*, no. 3, issue 59, pp. 55–62 (in Ukrainian).
3. Pylypenko, Tetiana, Chyhyrynets, Olena, Vorobiova, Viktoriia & Yefimova, Veronika (2016). Doslidzhennia fizyko-khimichnykh pokaznykiv yakosti pinomyynykh kosmetychnykh zasobiv [Investigation of the physical and chemical indexes of quality of the cosmetic cleansers which form suds]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 1, issue 3, pp. 222–228 (in Ukrainian).
4. Vyshnikina, O.V. & Lykholat, O.A. (2009). Khimichna ekspertyza yakosti kosmetychnykh zasobiv, shcho importuiutsia v Ukrainu [Chemical examination of the quality of cosmetic products into Ukraine]. *Visnyk Akademii mytnoi sluzhby Ukrainy. Seriya: «Tekhnichni nauky»* – *Bulletin of the Academy of Customs of Ukraine. Series: «Technical sciences»*, no. 1, pp. 55–62 (in Ukrainian).
5. Prokopenko, V.P. & Kirkova, M.S. (2013). Doslidzhennia khimichnoho skladu kosmetychnykh zasobiv [Investigation of the chemical composition of cosmetic products]. *Imidzh suchasnoho pedahoha – The image of a modern educator*, no. 6, pp. 35–36 (in Ukrainian).
6. Krivova, A.Iu. & Paronian, V.Kh. (2009). *Tekhnologiya proizvodstva parfumerno-kosmeticheskikh produktov* [Technology of production of perfumery and cosmetic products]. Moscow: DeLi print (in Russian).
7. Mchedlov-Petrosian, M.O., Lebid, V.I., Hlazkova, O.M. & Lebid, O.V. (2012). *Koloidna khimiia* [Colloidal chemistry] (2<sup>nd</sup> ed., rev. end enl.). Kharkiv: KhNU im. V.N. Karazina (in Ukrainian).
8. Becke A.D. (1993). J. Chem. Phys. Vol. 98, p. 5648.
9. Gaussian, Inc., Pittsburgh PA / M.J. Frisch, G.W. Trucks, H.B. Schlegel [and other].
10. Suvorov, A.V. (1996). *Spravochnik po klinicheskoi toksikologii* [Reference book on clinical toxicology]. Nizhny Novgorod: Izd-vo NGMA (in Russian).

UDC 54.06:661.11

Tetiana Pylypenko, Yuliya Riabchun, Veronica Efimova

## INVESTIGATION OF THE QUALITY OF HAND CREAMS

**Urgency of the research.** Due to the wide range of cosmetic skin care creams of both Ukrainian and foreign production, presented on Ukrainian consumer market, the assessment of the quality and safety of their use has a great importance.

**Target setting.** An important step in quality and safety assessment of the cosmetic creams for the skin care is the analysis of their composition, the definition of basic physical and chemical indexes, normalized by the state standard.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The work of many scientists and practitioners is devoted to solving scientific and practical problems related to the research on quality and safety of cosmetic products.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Literary sources lack in systematic studies of the cosmetic hand creams, information on the safety of their use, pH, volatile substances and water content, colloidal stability and thermal stability.

**The research objective.** The aim of the work is to evaluate and compare the quality and safety of cosmetic creams for skin care of both Ukrainian and foreign production, presented today on the market of Ukraine.

**The statement of basic materials.** We have conducted an analysis of the composition and basic physical and chemical indexes of the quality of cosmetic creams for skin care of Ukrainian and foreign production, presented today on the consumer market of Ukraine. Measurements of electro kinetic potential and quantum-chemical calculations of the main reactive centers of molecules investigated cosmetic systems confirmed their colloidal stability.

**Conclusions.** According to the basic physical and chemical indexes of the quality of cosmetic hand creams that are presented for the consumers as cosmetic products on a natural basis (plant care for the skin of hands), it has been established that the samples examined meet the standardized value of the state standard; According to the analysis of the compositional components in the investigated creams, ingredients were found to be hazardous for the people with sensitive skin and allergies.

**Key words:** cosmetic cream; physical and chemical indexes of quality; colloidal stability; electrokinetic potential; quantum-chemical calculations.

Tabl.: 1. Bibl.: 10.

УДК 54.06:661.11

Татьяна Пилипенко, Юлия Рябчун, Вероника Ефимова

## ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА КОСМЕТИЧЕСКИХ КРЕМОВ ДЛЯ РУК

Проведен анализ композиционных составляющих и основных физико-химических показателей качества косметических кремов по уходу за кожей рук отечественного и зарубежного производства, представленных на сегодня на потребительском рынке Украины. Измерениями электрокинетического потенциала и квантово-химическими расчетами основных реакционных центров молекул составляющих композиций исследованных косметических систем подтверждено их коллоидную стабильность.

**Ключевые слова:** косметический крем; физико-химические показатели качества; коллоидная стабильность; электрокинетический потенциал; квантово-химические расчеты.

Tabl.: 1. Bibl.: 10.

**Пилипенко Тетяна Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Пилипенко Татьяна Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физической химии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Pylipenko Tetiana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of department of physical chemistry, National Technical University of Ukraine «Ihor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** pilipenkotm@bigmir.net

**Рябчун Юлія Володимирівна** – студентка, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Рябчун Юлия Владимировна** – студентка, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Riabchun Yuliya** – student, National Technical University of Ukraine «Ihor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** xrzars23@gmail.com

**Єфімова Вероніка Гаріївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної хімії, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Ефимова Вероника Гарриевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физической химии, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Efimova Veronica** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of department of physical chemistry, National Technical University of Ukraine «Ihor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** yefimova\_vg@bk.ru

Діна Федорова

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СУХИХ РИБО-РОСЛИННИХ НАПІВФАБРИКАТІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

**Актуальність теми дослідження.** Впровадження ресурсозберігаючих технологій є важливим аспектом ефективності функціонування підприємств харчопереробної галузі та закладів ресторанного господарства. Важливого значення для продовольчої безпеки країни набувають технології маловідходної переробки доступної для широких верств населення дрібної рибної сировини, передусім родини бичкових (Gobiidae), яка сьогодні є однією із найчисельніших вітчизняних морських риб.

**Постановка проблеми.** Вирішення завдання раціонального використання вітчизняної дрібної рибної сировини передбачає розвиток технологій її комплексного перероблення на харчові продукти, зокрема на сухі рибо-рослинні напівфабрикати (РРН) для кулінарної продукції, хлібобулочних виробів, снекової продукції, концентратів та ін. У результаті багатопланових досліджень авторами розроблено технологію сухих РРН на основі комплексного перероблення нежирної дрібної рибної сировини Gobiidae у комплексі з рослинною клітковиною. Дослідження функціонально-технологічних властивостей сухих РРН та обґрунтування напрямів їх використання в технологіях харчової продукції є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення фундаментальних питань створення технологій сухих продуктів на основі рибної сировини зробили дослідження таких учених, як Л. С. Абрамова, Л. В. Антипова, Г. І. Касьянов, Т. М. Сафронова, Ю. А. Фатихов, С. Bonazzi, Н. Hayashi та ін. Багато з них продовжують досліджувати цю проблему, оскільки вона не втратила своєї актуальності і сьогодні. Останніми роками відзначається підвищення зацікавленості науковців до створення нових технологій харчових продуктів з риби, збагачених харчовими волокнами.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Дослідженню функціонально-технологічних характеристик рослинної клітковини з метою регулювання структурно-механічних властивостей харчових систем із їх вмістом присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених проте, системних досліджень щодо вивчення функціонально-технологічних властивостей комплексу рибної сировини та рослинної клітковини у складі сухих рибо-рослинних напівфабрикатів у літературі не наведено.

**Постановка завдання. Метою роботи** є дослідження функціонально-технологічних властивостей сухих рибо-рослинних напівфабрикатів з метою обґрунтування технології їх використання у харчовій продукції.

**Виклад основного матеріалу.** Встановлено, що процес набрякання сухих РРН відбувається у два етапи: проникнення розчинника всередину продукту та безпосереднє набрякання полімерів. За типом кінетичних кривих встановлено, що сухим РРН властиве обмежене набрякання, яке закінчується поглинанням розчинника природними біополімерами. За результатами проведених досліджень функціонально-технологічних властивостей сухих та гідратованих РРН встановлено, що базові РРН є менш гідрофільними порівняно зі збагаченими РРН з використанням клітковини насіння льону. Підтверджено, що види використовуваної рибної сировини у складі РРН також мають вплив на їх гідратаційні властивості. Так, використання клітковини насіння льону сприяє підвищенню гідрофільних властивостей РРН у середньому на 5...11 %, а використання фаршу з гідролізованих рибних голів – на 2...5 % відповідно. Отже, провідну роль у процесі гідратації РРН відіграють полісахариди клітковини висівків та насіння льону, які впливають на вологопоглинальну здатність за рахунок зміцнення зв'язку харчових волокон із сорбційною вологою у гетерогенній системі, причому цей вплив перевищує вплив білкових гідрокоїдів РРН. Максимальний синергійний ефект щодо підвищення вологопоглинальної, вологоутримувальної, жирутримувальної та емульгуючої властивостей відзначено у зразка РРН, що виготовлений з гідролізованих голів Gobiidae з використанням клітковини з насіння льону. З'ясовано, що РРН, виготовлені на основі фаршів з гідролізованих голів Gobiidae, мають вищу гідратаційну здатність та характеризуються більш високими функціонально-технологічними властивостями щодо волого-, жирутримання та емульгування порівняно із РРН, виготовлених з фаршів з м'язово-скелетних тканин Gobiidae, що є наслідком більшого вмісту в них глютинізованого колагену.

**Висновки.** Підвищення температури до 60 °С призводить до прискорення процесу набрякання всіх досліджуваних зразків РРН. Провідну роль у процесі гідратації відіграють полісахариди клітковини висівків та насіння льону, а також білок як основні складові РРН. Максимальний показник вологопоглинання РРН (3,87 од.) спостерігається при взаємодії з водою температури 60 °С протягом 15-60 с. Проте при підвищенні температури води до 60 °С вологоутримувальна здатність гідратованих РРН знижується – від 2,1 до 6,7 %. Це дає підстави рекомендувати здійснювати гідратацію сухих РРН перед використанням у виробництві харчової продукції при температурі води 20±2 °С. Отримані результати досліджень можуть бути використані у процесі розроблення технологій харчових продуктів з використанням сухих рибо-рослинних напівфабрикатів і надають можливість розробити оптимальні параметри технологічного процесу виготовлення кулінарної, кондитерської продукції та харчових концентратів з використанням сухих РРН.

**Ключові слова:** рибо-рослинні напівфабрикати; показник вологопоглинання; гідратаційна здатність; жирутримувальна здатність; емульгування.

Табл.: 2. Рис.: 3. Бібл.: 11.

**Постановка проблеми.** Впровадження ресурсозберігаючих та конкурентоспроможних технологій є важливим аспектом ефективності функціонування підприємств харчопереробної галузі та закладів ресторанного господарства. Важливого значення для про-

довольчої безпеки країни набувають технології маловідходної переробки доступної для широких верств населення дрібної рибної сировини, передусім родини бичкових (*Gobiidae*), яка сьогодні є однією із найчисельніших вітчизняних морських риб за обсягом видобутку [1; 2]. Створення ресурсозберігаючих технологій сухих порошкоподібних напівфабрикатів на основі комплексного перероблення дрібної риби є актуальним завданням для вітчизняної харчової промисловості. Актуальність розробки визначається також зростаючими потребами суспільства у харчових продуктах швидкого приготування. Сушені продукти не вимагають особливих умов і витрат на устаткування й виробничі площі під час зберігання в результаті значного зменшення їх маси і тривалої стійкості до мікробного псування. Наявність певних функціонально-технологічних властивостей сушених продуктів, зокрема сухих рибо-рослинних напівфабрикатів, дозволяє застосовувати їх у традиційних технологіях широкого асортименту кулінарної продукції як смако-ароматичні агенти, як основний компонент або білково-мінеральна добавка у харчових концентратах, хлібобулочних і борошняних виробках, напівфабрикатів високого ступеня готовності, інноваційної снекової продукції для «здорового перекусу» тощо. Слід відзначити відсутність на вітчизняному ринку детермінованих за поживною цінністю концентрованих продуктів швидкого приготування і сніків, які б могли задовольнити зростаючі потреби сучасних споживачів щодо швидкого і здорового харчування. Вони можуть використовуватися в закладах ресторанного господарства, зокрема у мережі підприємств швидкого обслуговування (бістро), у кондитерських цехах тощо.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значний внесок у вирішення фундаментальних питань створення технологій сухих продуктів на основі рибної сировини надали дослідження таких учених, як Л. С. Абрамова, Л. В. Антипова, Г. І. Касьянов, Т. М. Сафронова, Ю. А. Фатихов, С. Bonazzi, Н. Hayashi та ін. Багато з них продовжують досліджувати цю проблему, оскільки вона не втратила своєї актуальності і сьогодні. Останнім часом відзначається підвищення зацікавленості науковців до створення нових технологій харчових продуктів з риби, збагачених харчовими волокнами. При цьому авторами особлива увага приділяється дослідженню наукових аспектів використання у складі рибних продуктів нерозчинних форм харчових волокон, зокрема рослинної клітковини [3; 4].

Використання рослинної клітковини у складі рибних продуктів надає їм оздоровчих властивостей, дозволяє знизити енергетичну цінність, вміст холестерину та жирів. Рослинна клітковина у технологіях рибних продуктів також може вирішувати певні технологічні завдання щодо волого- та жирутримання, регулювання гідратаційних, в'язко-пластичних та адгезійних властивостей, текстурних та сенсорних характеристик, показників якості під час зберігання [5].

Дослідниками підтверджено технологічну та фізіологічну ефективність використання рослинної клітковини, зокрема висівок пшеничних, у технологіях комбінованих і реструктурованих рибних продуктів. Технологічний ефект використання пшеничних висівок у складі рибних фаршів з м'язової тканини хека, ставриди та інших видів риби полягає у підвищенні вологозв'язуючих властивостей та покращення структурно-механічних характеристик фаршів [4; 5]. Проте даних щодо застосування сухих продуктів переробки дрібної рибної сировини у комплексі із рослинною як поліфункціональних порошкоподібних напівфабрикатів високого ступеня готовності у виробництві кулінарної продукції та борошняних кондитерських виробів підвищеної харчової та біологічної цінності в літературних джерелах не описано.

У результаті багатопланових досліджень авторами розроблено технологію сухих рибо-рослинних напівфабрикатів на основі комплексного перероблення нежирної дрібної рибної сировини у комплексі із рослинною (клітковина висівок пшеничних та насіння льону), які отримані методом ступеневого конвективного сушіння [6; 7]. Перевагами роз-

робленої технології є підвищення використання біопотенціалу вітчизняної дрібної рибної сировини, забезпечення мінімальних втрат термолабільних есенціальних нутрієнтів під час сушіння, поліпшення органолептичних характеристик сухих рибо-рослинних напівфабрикатів. Використання розроблених рибо-рослинних напівфабрикатів у виробництві харчової продукції дозволить підвищити вміст у ній есенціальних амінокислот, поліненасичені жирні кислоти, зокрема омега-3, мінеральних елементів, зокрема кальцію, фосфору та магнію, вітамінів групи В та інших біологічно цінних речовин [6; 8].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної наукової проблеми.** Дослідженню функціонально-технологічних характеристик рослинної клітковини з метою регулювання структурно-механічних властивостей харчових систем із їх вмістом присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних учених: А. М. Дорохович, В. Ф. Доценка, В. І. Дробот, К. Г. Іоргачової, Л. І. Карнаушенко, В. М. Ковбаси, Л. П. Малюк, В. М. Пасічного, П. П. Пивоварова, Ф. В. Перцевого та ін. Проте системних досліджень щодо вивчення функціонально-технологічних властивостей комплексу рибної сировини та рослинної клітковини у складі сухих рибо-рослинних напівфабрикатів у літературі не наведено.

Відсутність у рибній сировині баластних речовин не дозволяє розглядати продукцію з рибного фаршу як таку, що відповідає формулі оптимального харчування людини. Поєднання рибної сировини та рослинної клітковини у складі рибо-рослинних напівфабрикатів має декілька важливих цілей:

- поліпшення органолептичних властивостей напівфабрикатів;
- формування заданих функціонально-технологічних властивостей;
- підвищення харчової цінності, забезпечення фізіологічного вмісту харчових волокон, що необхідні для підтримання нормальної внутрішньої екології людини та формування оздоровчих властивостей готової продукції.

Враховуючи, що перспективною сферою застосування сухих рибо-рослинних напівфабрикатів є борошняні та комбіновані кулінарні вироби із січеної рибної, овочевої та овочево-круп'яної мас (паштети, формовані полікомпонентні кулінарні вироби), рослинна клітковина у таких технологіях може вирішувати певні технологічні завдання щодо волого- та жирутримання, регулювання гідратаційних, в'язко-пластичних та адгезійних властивостей, текстурних та сенсорних характеристик, показників якості під час зберігання. Таким чином, дослідження функціонально-технологічних властивостей сухих рибо-рослинних напівфабрикатів та обґрунтування напрямів їх використання в технологіях харчової продукції є актуальним та своєчасним завданням.

**Метою роботи** є дослідження функціонально-технологічних властивостей сухих рибо-рослинних напівфабрикатів з метою обґрунтування технології їх використання у харчовій продукції.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити певні завдання:

- обґрунтувати вплив джерел харчових волокон та виду рибної сировини у складі рибо-рослинних напівфабрикатів різної дисперсності на їх водопоглинальну, водо- та жирозв'язувальну здатність;
- дослідити вплив виду і температури рідкого середовища на кінетику гідратації рибо-рослинних напівфабрикатів, їх емульгувальну здатність;
- обґрунтувати перспективні напрями використання розроблених рибо-рослинних напівфабрикатів у виробництві харчової продукції.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єкти дослідження – сухі рибо-рослинні напівфабрикати (РРН) на основі цілого бланшованого патраного без голови Gobiidae та термооброблених голів Gobiidae з використанням композицій рослинної клітковини:

- рибо-рослинний напівфабрикат базовий з цілого бланшованого патраного без голови Gobiidae з висівками пшеничними (БП);

- рибо-рослинний напівфабрикат базовий з термооброблених голів *Gobiidae* з висівками пшеничними (БГП);
- рибо-рослинний напівфабрикат збагачений з цілого бланшованого патраного без голови *Gobiidae* з висівками пшеничними та клітковиною насіння льону (ЗПЛ);
- рибо-рослинний напівфабрикат збагачений з термооброблених голів *Gobiidae* з висівками пшеничними та клітковиною насіння льону (ЗГПЛ).

Досліджували органолептичні, фізико-хімічні та функціонально-технологічні властивості сухих рибо-рослинних напівфабрикатів. Були досліджені такі властивості рибо-рослинних напівфабрикатів: вологість, середній розмір частинок порошку, об'ємна маса напівфабрикату. Дослідження цих властивостей має практичне значення для характеристики напівфабрикатів та рекомендацій з їх використання та зберігання. Визначали водопоглинальну, водо- та жирозв'язувальну здатність сухих РРН при температурі  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  (табл. 1).

Таблиця 1

*Функціонально-технологічні та органолептичні показники сухих  
рибо-рослинних напівфабрикатів, ( $\bar{X} \pm m$ ), ( $T = 20 \pm 2^\circ \text{C}$ )*

Найменування показника	Значення (характеристика) показника			
	БП	БГП	ЗПЛ	ЗГПЛ
Масова частка вологи, %	$6,50 \pm 0,13$	$7,79 \pm 0,09$	$7,01 \pm 0,15$	$8,06 \pm 0,10$
Активна кислотність, рН	$6,49 \pm 0,12$	$6,22 \pm 0,16$	$6,28 \pm 0,11$	$6,15 \pm 0,13$
Середній лінійний діаметр часток, $d \cdot 10^{-3} \text{ м}$	$0,27 \pm 0,02$	$0,36 \pm 0,02$	$0,22 \pm 0,02$	$0,30 \pm 0,02$
Об'ємна маса, $\text{кг/м}^3$	$368 \pm 12$	$376 \pm 11$	$379 \pm 12$	$388 \pm 16$
Показник водопоглинання, од.	$2,72 \pm 0,11$	$3,20 \pm 0,17$	$3,30 \pm 0,20$	$3,63 \pm 0,21$
Жирозв'язувальна здатність, %	$119,2 \pm 2,3$	$128,9 \pm 3,1$	$142,1 \pm 2,8$	$155,9 \pm 2,5$
Зовнішній вигляд, консистенція	Сухий порошок, є незначна кількість грудочок, які легко розсипаються під час механічного впливу			
Колір	Світло-сірий	Світло-кремовий	Кремовий	Кремовий
Смак та запах <sup>1</sup>	Приємний, слабо виражені смак та аромат риби, без сторонніх запахів та присмаків	Приємний, в міру виражені смак та аромат риби, без сторонніх запахів та присмаків	Приємний, слабо виражені смак та аромат риби, без сторонніх запахів та присмаків	Приємний, в міру виражені смак та аромат риби, без сторонніх запахів та присмаків

<sup>1</sup> Визначали за пробою на варіння протягом 5 хв.

Встановлено, що розроблені напівфабрикати, виготовлені на основі фаршу з рибних голів мають дещо вищу масову частку вологи (на  $15,0 \dots 19,8 \%$ ), більший середній лінійний діаметр часточок (на  $33,3 \dots 36,4 \%$ ) та об'ємну масу (на  $2,2 \dots 2,4 \%$ ) порівняно із напівфабрикатами на основі цілого патраного *Gobiidae* (табл. 1). Активна кислотність напівфабрикатів на основі рибних голів на  $2,1 \dots 4,2 \%$  вища порівняно із напівфабрикатами на основі цілого патраного *Gobiidae*, що пов'язано із вищим вмістом ліпідів та продуктів їх окиснення.

Відзначено суттєве підвищення показника водопоглинання та жирозв'язувальної здатності у РРН з голів *Gobiidae*, значення яких на  $10,4 \dots 17,6 \%$  та  $8,1 \dots 9,7 \%$  вищі за відповідні значення показників для напівфабрикатів з цілого патраного *Gobiidae*.

Використання клітковини з насіння льону дозволяє значно поліпшити функціонально-технологічні властивості РРН, зокрема їх показник водопоглинання зростає на  $13,4 \dots 21,3 \%$ , а жирозв'язувальна здатність – на  $19,2 \dots 20,9 \%$ .

Наведені дані дозволяють констатувати позитивний вплив на функціонально-технологічні властивості РРН використання гідролізованої рибної сировини – голів *Gobiidae*, а також клітковини з насіння льону, які дозволяють значно підвищити волого- та жи-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

розв'язувальну здатності РРН. Найвищі значення водопоглинання (4,6 од.) та жиросв'язування (170,9 %) відмічено для зразка ЗГПЛ, що виготовлений із термооброблених голів *Gobiidae* з висівками пшеничними (вівсяними) та клітковиною насіння льону (ЗГПЛ), що підтверджує доцільність комплексного використання рибної та рослинної сировини.

Завдяки додаванню рослинних компонентів покращуються гідратаційні властивості РРН (збільшується показник водопоглинання), що дозволить регульовано покращувати структурно-механічні показники харчових систем з їх вмістом (табл. 1).

Результати досліджень фізико-хімічних показників РРН на основі *Gobiidae* та рослинної клітковини свідчать про їх високу технологічну придатність для використання у виробництві кулінарної продукції, борошняних кулінарних і кондитерських виробів, харчових концентратів, які потребують відновлення.

Використання сухих РРН у складі борошняних та комбінованих кулінарних виробів з січеної рибної, овочевої та овочево-круп'яної мас (паштети, формовані полікомпонентні кулінарні вироби), харчових концентратів обідньої продукції (перших і других обідніх страв) передбачає доцільність попереднього відновлення сухих напівфабрикатів у воді або інших видах рідини. Оскільки в технологіях борошняних кулінарних і кондитерських виробів як рідкий компонент використовується молоко, молочна сироватка або кефір, досліджували кінетику гідратації риби-рослинних напівфабрикатів у цих середовищах. При взаємодії сухих РРН із рідиною відбувається процес їх гідратації (набрякання), який супроводжується збільшенням об'єму та маси. Це зумовлює необхідність дослідження цього процесу, що має важливе значення з погляду забезпечення якості готової продукції.

Оскільки умови проведення технологічного процесу мають значний вплив на якість та властивості кінцевого продукту, вивчали кінетику процесу гідратації РРН у воді при температурах 20 та 60 °C, які є традиційними для оцінки гідратаційних властивостей харчових систем у виробництві борошняних та хлібобулочних виробів [9].

Аналіз отриманих даних засвідчив, що процес кінетики гідратації для всіх зразків РРН відбувається достатньо швидко і з однаковою закономірністю. Показники вологопоглинання РРН за різної температури води вже за 5-60 с досягають 77...89 % від максимального значення (рис. 1). Спочатку відбувається проникнення розчинника усередину продукту, а потім безпосередньо процес набрякання. При подальшій взаємодії зразків рідиною після досягнення максимального значення спостерігається певне зменшення ступеня набрякання. Зниження набрякання можна пояснити частковим розчиненням, яке супроводжується переходом сухих речовин РРН у воду. Встановлено, що найбільший показник вологопоглинання спостерігається при взаємодії з водою температурою 60 °C протягом 12-60 с. Вплив підвищення температури не має суттєвого впливу на підвищення гідратаційної здатності РРН. Однак за температури розчинника 60 °C спостерігається вища швидкість поглинання зразком низькомолекулярної рідини.

У результаті дослідження встановлено, що види використовуваної рибної та сировини у складі РРН мають вплив на їх гідратаційні властивості. Так, використання клітковини насіння льону сприяє підвищенню гідратаційних властивостей РРН у середньому на 5...11 %, а використання фаршу з рибних голів – на 2...5 % відповідно.

ЗГПЛ характеризуються найвищим показником вологопоглинання порівняно з іншими досліджуваними зразками. Максимальний показник вологопоглинання ЗГПЛ (3,87 од.) спостерігається при взаємодії з водою температури 60 °C протягом 15-60 с. При температурі розчинника 20 °C цей показник має значення 3,77 од., що немає суттєвої різниці.

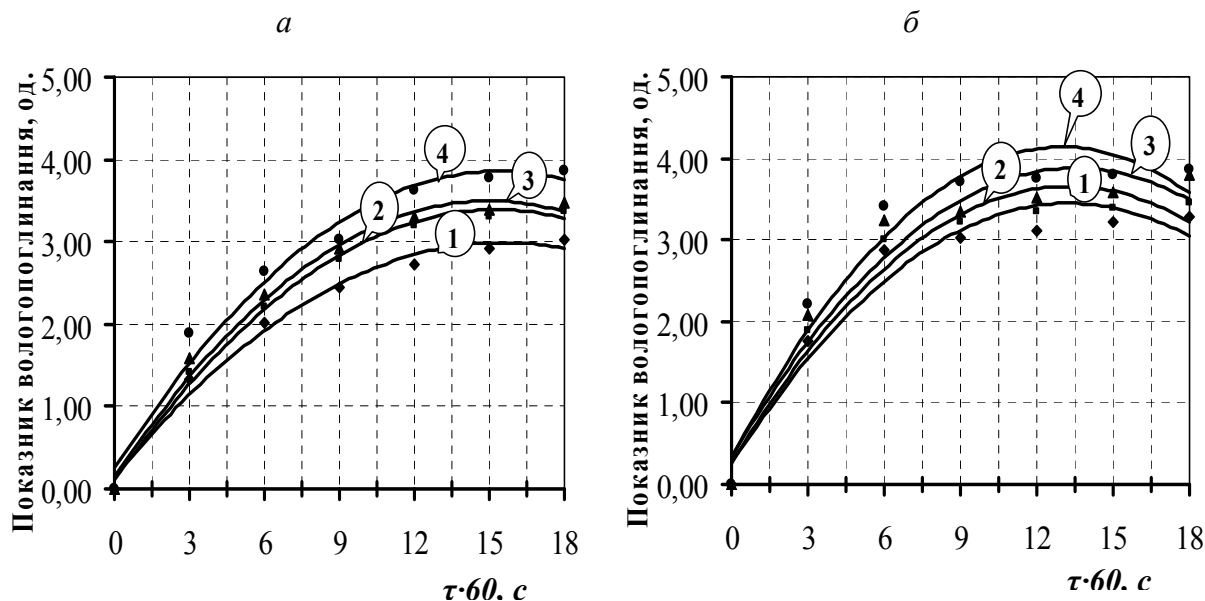


Рис. 1. Кінетика гідратації сухих РРН у воді при температурах:

*a* – 20 °C, *б* – 60 °C

1 – БП; 2 – БГП; 3 – ЗПЛ; 4 – ЗГПЛ

Провідну роль у процесі гідратації відіграють полісахариди клітковини висівків та насіння льону, а також білок як основні складові РРН. Підвищення температури до 60 °C призводить до прискорення процесу набрякання всіх досліджуваних зразків РРН. Використання рослинної сировини підвищує гідрофільні властивості РРН.

За типом кінетичних кривих встановлено, що сушеним РРН властиве обмежене набрякання, яке закінчується поглинанням розчинника природними біополімерами. При цьому змінюється маса та об'єм продукту, а система набуває драгелеподібного стану. Характерною особливістю процесу є досягнення максимального значення показника вологопоглинання протягом певного проміжку часу, після чого значення цього показника стабілізується і не змінюється при подальшій взаємодії з розчинником.

Досліджували також масову частку води гідратованих РРН та їх вологоутримувальну, жиротримувальну та емульгувальну здатність при температурі  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  протягом 15·60 с (табл. 2).

Встановлено, що гідратовані РРН, виготовлені на основі фаршу з рибних голів, мають дещо вищу масову частку води (на 3,6...6,0 %), вищу вологоутримувальну (на 5,9...6,2 %) та жиротримувальну здатність (на 6,4...6,8 %) та емульгувальну здатність (на 6,1...6,5 %) порівняно з напівфабрикатами на основі цілого патраного *Gobiidae* (табл. 2). Відзначено також вплив клітковини насіння льону на функціонально-технологічні властивості гідратованих РРН. Так, гідратовані РРН, виготовлені з використанням клітковини льону, мають вищу масову частку води (на 6,4...8,8 %), вищу вологоутримувальну (на 4,4...7,0 %), жиротримувальну (на 9,9...10,3 %) та емульгувальну здатність (на 14,6...15,2 %) порівняно з напівфабрикатами без клітковини льону (табл. 2).

Таблиця 2

Функціонально-технологічні показники гідратованих рибо-рослинних напівфабрикатів, ( $\bar{X} \pm m$ ), ( $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ )

Найменування показника	Значення (характеристика) показника			
	БП	БГП	ЗПЛ	ЗГПЛ
1	2	3	4	5
Масова частка води, %	$66,1 \pm 2,1$	$68,5 \pm 2,9$	$70,3 \pm 2,2$	$74,5 \pm 2,3$
Вологоутримувальна здатність, %	$55,1 \pm 1,1$	$58,5 \pm 2,6$	$59,0 \pm 2,2$	$62,5 \pm 2,4$

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5
Вологоутримувальна здатність <sup>1</sup> , %	51,4 ± 1,8	58,6 ± 1,7	58,7 ± 1,5	61,2 ± 1,3
Жирутримувальна здатність, %	45,5 ± 1,3	48,6 ± 1,5	50,2 ± 1,1	53,4 ± 1,4
Емульгувальна здатність, %	37,8 ± 1,5	40,1 ± 1,2	43,3 ± 1,1	46,2 ± 1,3
Перспективні напрями використання	Рибні січені вироби, борошняні кулінарні вироби, снеки, харчові концентрати		Соуси та пасти емульсійного типу, суфле, формовані кулінарні вироби, борошняні кондитерські вироби	

<sup>1</sup> При температурі гідратованих РРН 60° С.

Зауважено, що при підвищенні температури води до 60 °С вологоутримувальна здатність гідратованих РРН знижується – від 2,1 до 6,7 %. Це надає підстави рекомендувати здійснювати гідратацію сухих РРН перед використанням у виробництві кулінарної продукції, борошняних та борошняних кондитерських виробів при температурі води 20 ± 2 °С.

Також досліджували кінетику процесу гідратації РРН у молочній сироватці та кефірі, які є поширеними рідкими компонентами борошняних виробів (рис. 2).

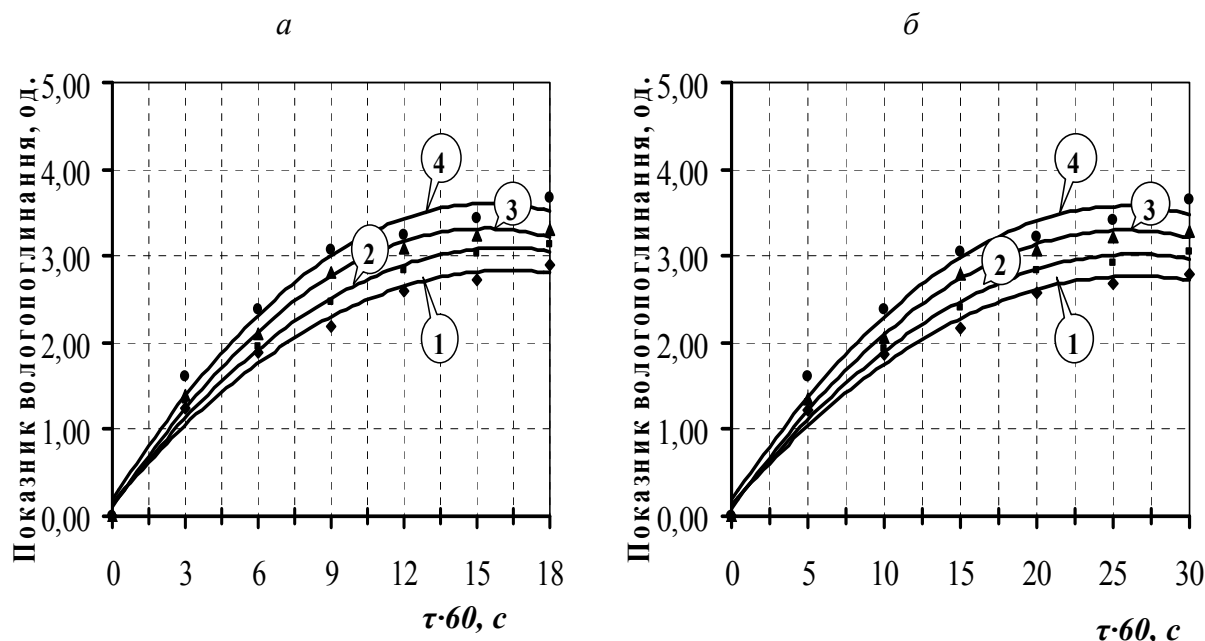


Рис. 2. Кінетика гідратації сухих РРН при температурі 20 °С:

а – у молочній сироватці (рН 4,69), б – у кефірі (рН 4,85).

1 – БП; 2 – БГП; 3 – ЗПЛ; 4 – ЗГПЛ

Крім того, переваги використання молочної сироватки або кефіру для гідратації РРН обумовлені їх позитивним дезодоруючим впливом на органолептичні характеристики продуктів, що пов'язані з нейтралізацією характерного рибного запаху [10; 11]. Кінетику процесу гідратації РРН у воді також досліджували при температурі 20 °С.

Сухі РРН набрякають у кефірі повільніше, ніж у інших досліджених розчинниках. Показники вологопоглинання РРН у кефірі досягають максимального значення (2,8...3,65 од.) за 25...30·60 с, тоді як у сироватці молочній – за 15...18·60 с.

Максимальний показник вологопоглинання РРН у кефірі залежно від виду РРН становить 2,8...3,65, у сироватці – 2,9...3,68. Причиною такої різниці в перебігу процесу набухання є природа розчинника та його в'язкісні характеристики. Підвищені в'язкісні характеристики кефіру уповільнюють процес гідратації РРН через уповільнення проникнення розчинника всередину продукту.

Обґрунтовано перспективні напрями використання розроблених РРН у виробництві кулінарної продукції, борошняних кондитерських виробів та харчових концентратів (рис. 3).

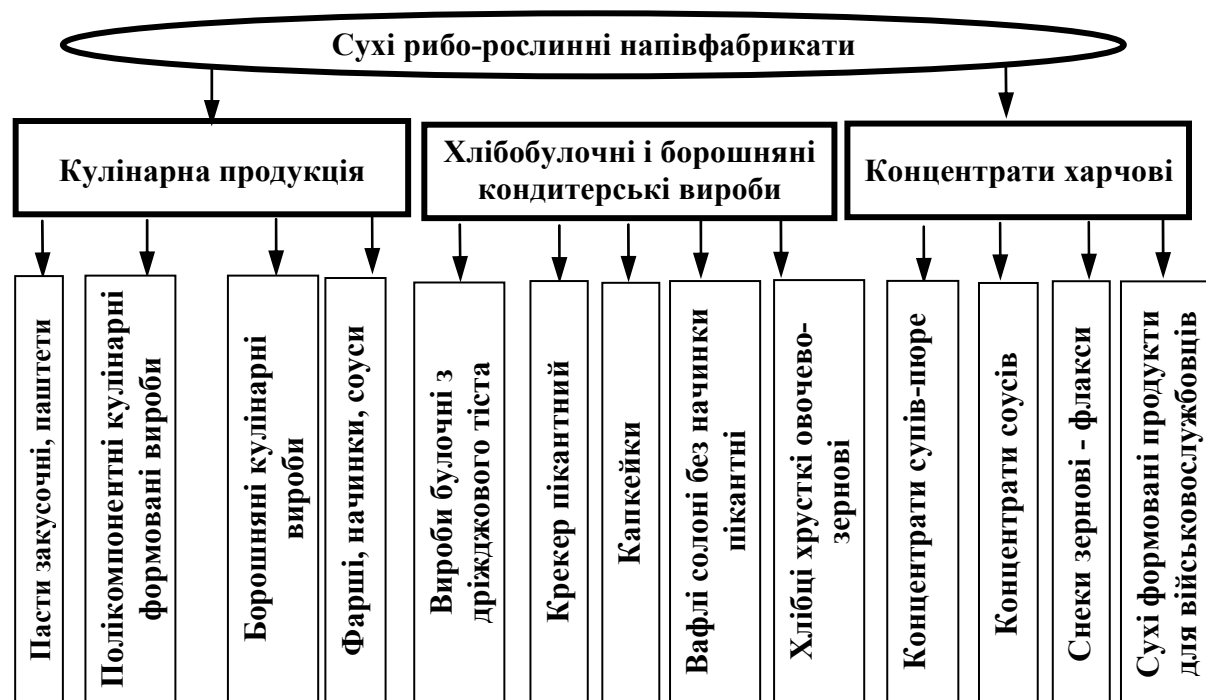


Рис. 3. Напрями використання сухих рибо-рослинних напівфабрикатів

**Висновки.** Встановлено, що процес набрякання сухих РРН відбувається у два етапи: проникнення розчинника всередину продукту та безпосереднє набрякання полімерів. За типом кінетичних кривих відзначено, що сухим РРН властиве обмежене набрякання, яке закінчується поглинанням розчинника природними біополімерами. Провідну роль у процесі гідратації відіграють полісахариди клітковини висівков та насіння льону, а також білок як основні складові РРН. Підвищення температури до 60 °С призводить до прискорення процесу набрякання всіх досліджуваних зразків РРН. Використання рослинної сировини підвищує гідрофільні властивості РРН.

Підтверджено, що види рибної сировини у складі РРН також мають вплив на їх гідратаційні властивості, але провідну роль у процесі гідратації РРН відіграють полісахариди клітковини висівков та насіння льону, які впливають на вологопоглинальну здатність за рахунок зміцнення зв'язку харчових волокон із сорбційною вологою у гетерогенній системі, причому цей вплив перевищує вплив білкових гідроколоїдів РРН. З'ясовано, що РРН, виготовлені на основі фаршів з гідролізованих голів *Gobiidae*, мають вищу гідратаційну здатність та характеризуються більш високими функціонально-технологічними властивостями щодо волого-, жирутримання та емульгування порівняно із РРН, виготовлених з фаршів з м'язово-скелетних тканин *Gobiidae*, що є наслідком більшого вмісту в них глютинізованого колагену. Підвищення температури до 60 °С призводить до прискорення процесу набрякання всіх досліджуваних зразків, проте вологоутримувальна здатність гідратованих РРН знижується – від 2,1 до 6,7 %. Це дає підстави рекомендувати здійснювати їх гідратацію при температурі води  $20 \pm 2$  °С. Отримані результати досліджень можуть бути використані при розробленні технологій харчової продукції з використанням сухих РРН та надають можливість розробити оптимальні параметри технологічного процесу виготовлення кулінарної, кондитерської продукції та харчових концентратів з використанням сухих РРН.

**Список використаних джерел**

1. Федорова Д. Біологічна цінність рибо-рослинних напівфабрикатів на основі комплексного перероблення бичка азовського / Д. Федорова, Ю. Кузьменко // Товари і ринки. – 2015. – № 2. – С. 85–97.
2. Добування водних біоресурсів за 2016 рік : статистичний бюлетень [Електронний ресурс]. – К., 2017. – Режим доступу : [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ7\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm).
3. *Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review* [Electronic resource] / M. Elleuch, D. Bedigian, O. Roiseux, S. Besbes, C. Blecker, H. Attia // *Food Chemistry*. – 2011. – Vol. 124 (2). – Pp. 411–421. – Access mode : <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>.
4. Borderías A. J. Fibre-enriched seafood / A. J. Borderías, M. Pérez-Mateos, I. Sánchez-Alonso // *Fibre-Rich and Wholegrain Foods. Food Science, Technology and Nutrition*. – 2013. – Pp. 348–368.
5. *Testing caffeic acid as a natural antioxidant in functional fish-fibre restructured products* / I. Sánchez-Alonso, M. Carechea, P. Moreno, M.–J. González, I. Medina // *Food Science and Technology*. – 2011. – Vol. 44 (4). – Pp. 1149–1155.
6. *Інновації в харчових технологіях : монографія* / В. А. Піддубний, А. А. Мазаракі, Н. В. При-тульська та ін. ; за ред. д.т.н., проф. Піддубного В. А. – К. : Кондор-Видавництво, 2015. – 568 с.
7. При-тульська Н. В. Ресурсозберігаюча технологія сухих рибо-рослинних напівфабрикатів / Н. В. При-тульська, Д. В. Федорова // *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. – 2017. – Вип. 18. – С. 65–71.
8. Федорова Д. В. Дослідження жирнокислотного складу сухих рибо-рослинних напівфа-брикатів / Д. В. Федорова, П. О. Карпенко, О. О. Васильєва // *Наук. праці Одес. нац. акад. харчових технологій. Технічні науки*. – 2017. – Т. 11, вип. 3. – С. 61–70.
9. *Методы определения набухания и влагоудерживающей способности сухих рыбных кон-центратов* / Т. В. Беседина, Е. Н. Харенко, Н. Н. Зумов // *Исследования по технологии рыбных продуктов : сб. науч. тр., М. : ВНИРО, 1996. – С. 150–154.*
10. Васюкова А. Т. Разработка и исследование технологий комбинированных мясорыбных кулинарных изделий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Васюкова Анна Тимофеевна ; Харьков-ская гос. академия технологии и организации питания. – Х., 1996. – 50 с.
11. Бойцова Т. М. Использование молочной сыворотки при ферментировании рыбных продук-тов / Т. М. Бойцова, С. В. Журавлева, Ж. Г. Прокопец // *Материалы II Междунар. конф. «Прогрес-сивные технологии и оборудование для пищевой промышленности» : в 2 ч. – Воронеж : Изд-во Во-ронезской гос. технологич. академии, 2004. – Ч. 1. – С. 58–60.*

**References**

1. Fedorova, D., Kuzmenko, Yu. (2015). *Biologichnatsinnistyryo-bo-roslynnykh napivfabrykativ naosnovi-kompleksnopereroblenniabychkaazovskoho* [Biological value of fish & plant semifinished products based on Azov goby]. *Tovary i rynky – Commodities and Markets*, no. 2, pp. 85–97 (in Ukrainian).
2. *Dobuvannia vodnykh bioresursiv za 2016 rik: statystychnyi biuleten* [Getting water bioresources for 2015: Statistical Bulletin]. Retrieved from [http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat\\_u/publ7\\_u.htm](http://ukrstat.org/uk/druk/publicat/kat_u/publ7_u.htm).
3. Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., Attia, H. (2010). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: a review. *Food Chemistry*, vol. 124, issue 2, pp. 411–421. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>.
4. Borderías, A.J., Pérez-Mateos, M., Sánchez-Alonso, I. (2013). Fibre-enriched seafood. Fibre-Rich and Whole grain Foods: improving Quality. *Food Science, Technology and Nutrition*, pp. 348–368. Retrieved from <https://doi.org/10.1533/9780857095787.4.348>.
5. Sánchez-Alonso, I., Carechea, M., Moreno, P., González, M.–J., Medina, I. Testing caffeic acid as a natural antioxidant in functional fish-fibre restructured products (2011). *Food Science and Technology*, vol. 44, issue 4, pp. 1149–1155. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.11.018>.
6. Piddubnyi, V.A., Mazaraki, A.A., Prytul'ska, N.V., Kravchenko, M.F., Fedorova, D.V. (2015). *Innovatsii v kharchovykh tekhnolohiiakh* [Innovation in the food technologies]. Kyiv: Kondor-Vydavnytstvo (in Ukrainian).

7. Prytulska, N.V., Fedorova, D.V. (2017). Resursozberihaiucha tekhnolohiia sukhykh rybo-roslynnykh napivfabrykativ [Resource saving technology of dry fish and plant semiproductions]. *Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho universytetu: tekhnichni nauky – Herald of Lviv University of Trade and Economics: Technical Sciences*, no. 18, pp. 65–71 (in Ukrainian).
8. Fedorova, D.V., Karpenko, P.O., Vasylieva, O.O. (2017). Doslidzhennia zhynokyslotnoho skladu sukhykh rybo-roslynnykh napivfabrykativ [Research of fatty acid composition of lipids of dry fish and plant semi-finished food products]. *Kharchovanauka i tekhnolohiia – Food Science and Technology*, vol. 11 (3), pp. 61–70. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.15673/fst.v11i3.608>.
9. Besedina, T.V., Kharenko, E.N., Zumov, N.N., Popova, L.V., Tashkova, G.N. (1986). Metody opredeleniia nabukhannia i vlagouderzhivaiushchei sposobnosti sukhikh rybnykh kontcentratov [Methods for determining swelling and moisture retention capacity of dry fish concentrates] *Issledovaniia po tekhnologii rybnykh produktov: sbornik nauchnykh trudov – Studies on the technology of fish products: collection of scientific papers*. Moscow: VNIRO, pp. 150–154.
10. Vasiukova, A.T. (1996). Razrabotka i issledovanie tekhnologii kombinirovannykh miasorybnykh kulinarykh izdelii [Development and research of technologies of combined meats and fish culinary products]. *Extend ed abstract of Doctor's thesis*. Kharkov (in Russian).
11. Boitcova, T.M., Zhuravleva, S.V., Prokopetc, Zh.G. (2004). Ispolzovanie molochnoi syvorotki pri fermentirovanii rybnykh produktov [The use of whey in the fermentation of fish products]. *Proceedings from II Mezhdunar. konf. «Progressivnye tekhnologii i oborudovanie dlia pishchevoi promyshlennosti» – The Second International Scientific and Practical Conference [Progressive technologies and equipment for the food industry]*, part 1, pp. 109–111, Voronezh: Izd-vo Voronezhskoi gos. tekhnologich. Akademii (in Russian).

UDC 664.641:975.8

Dina Fedorova

## THE RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF DRY FISH&PLANT SEMI-PRODUCTS AND THEIR USING IN FOOD TECHNOLOGIES

**Urgency of the research.** The development of resource-saving technologies is an important aspect of the efficiency of the enterprises of the food processing industry and restaurants. Important for the country's food security are the technologies of low-waste processing of small-scale fish stocks available to the general population, first of all, the Gobiidae fish, which today is one of the most numerous domestic sea fish.

**Target setting.** The task of rational use of domestic raw small fish is the development of technologies their complex processing on food products such as dry fish and plant semi-products that can be used in culinary products, bakery products, snack products, concentrates, dried molded products for special purposes. Because of multifaceted researches, the authors developed a technology of dry fish and plant semi-finished products based on the complex processing of low-fat, small fish stocks of Gobiidae in a complex with plant fiber. Research of functional and technological properties of dry fish and plant semi-finished products and substantiation of directions of their use in food technologies is an actual task.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A significant contribution to solving the fundamental issues of the creation of technologies for the dry products based on fish raw materials was provided by researchers such as Abramova L. S., Antipova L. V., Kasyanov G. I., Safronova T. M., Fatikhov Yu. A., Bonazzi C., Haashi H. et al. Many of them continue to deal with this problem, because it has not lost its relevance today. In recent years, there has been an increase in the interest of scientists in the development of new technologies of food products from fish, enriched with food fibres.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The study of functional and technological characteristics of plant fibre for the purpose of regulating the structural and mechanical properties of food systems and their content are devoted to the work of many domestic and foreign scientists, however, systematic studies on the study of functional and technological properties of a complex of fish raw materials and plant fibre in the composition of dry fish and plant semi-products in literature is not given.

**The research objective** is to investigate the functional and technological properties of dry fish and plant semi-finished products and substantiation of directions of their use in food technologies.

**The statement of basic materials.** It has been established that the process of soaking of dry RRN occurs in two stages: penetration of the solvent into the product and direct soaking of the polymers. By type of kinetic curves of hydration it is established that dry fish and plant semi-finished products have a limited soaking, which ends with the absorption of the solvent by natural biopolymers. According to the results of the research on the functional and technological properties of dry and hydrated RRN, it was established that the basic RRN are less hydrophilic than enriched RRN using fiber of flaxseed. It is confirmed that the types of used fish raw materials in the composition of RRN also have an influence on their hydration properties. Thus, the use of flaxseed fiber contributes to an increase in the hydrophilic properties of RRN by an average of 5–11 %, and the use of minced meat from hydrolyzed fish heads - by 2–5 %, respectively. Consequently, the leading role in the process of hydration of RRN is played by polysaccharide of cellulose of bran and flaxseed seeds, which influence the mois-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ture absorption capacity by strengthening the connection of food fibers with sorption moisture in a heterogeneous system, and this effect exceeds the effect of protein hydrocolloids of RRN. The maximum synergistic effect on increasing the moisture absorption, moisture retention, fat-holding and emulsifying properties was observed in a sample of RRN made from hydrolyzed Gobiidae heads using fiber from flaxseed. It has been determined that RRN made on the basis of minced meat from hydrolyzed Gobiidae heads have higher hydration ability and are characterized by higher functional and technological properties related to moisture, fat content and emulsification in comparison with RRN made from minced meat from Globidae muscle and skeletal tissues, which is a consequence of the greater content of luteinized collagen in them.

**Conclusions.** An increase in temperature to 60 °C leads to an acceleration of the soaking process of all the samples under study RRN. The leading role in the process of hydration is played by polysaccharides of cellulose of bran and flaxseed, and protein as the main components of RRN. The maximum moisture absorption rate of RRN (3.87 units) is observed when cooled with water at a temperature of 60 °C for 15-60 seconds. However, with an increase in water temperature to 60 °C, the moisture holding capacity of hydrated RRN decreases - from 2.1 to 6.7%. This provides grounds for recommending the hydration of dry RRN before using in the manufacture of food products at a temperature of water of  $20 \pm 2$  °C. The obtained research results can be used in the development of food products using dry fish-plant semi-finished products and provide the opportunity to develop optimal parameters of the technological process of making culinary, confectionery and food concentrates using dry RRN.

**Key words:** fish and plant semi-finished products; moisture absorption index; hydration ability; fat holding capacity; emulsification.

Tabl.: 2. Fig.: 3. Bibl.: 11.

УДК 664.641:975.8

Дина Федорова

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СУХИХ РЫБО-РАСТИТЕЛЬНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

В статье исследованы функционально-технологические свойства сухих рыбо-растительных полуфабрикатов для пищевых продуктов на основе отечественного рыбного сырья Gobiidae и смеси растительных ингредиентов (клетчатка отрубей пшеничных, семена льна). Результаты исследований функционально-технологических свойств сухих полуфабрикатов свидетельствуют об их высокой технологической пригодности для использования в производстве мучных изделий, пищевых концентратов, которые подлежат восстановлению. По типу кинетических кривых гидратации установлено, что сухим рыбо-растительным полуфабрикатам свойственно ограниченное набухание, которое заканчивается поглощением растворителя природными биополимерами. Ведущую роль в процессе гидратации играют полисахариды клетчатки отрубей и семян льна, а также белок как основные составляющие полуфабрикатов. Научно обоснованы направления технологического применения разработанных полуфабрикатов в производстве широкого спектра пищевой продукции в сегменте массового и социального питания, улучшение обеспечения населения Украины рыбными продуктами.

**Ключевые слова:** рыбо-растительные полуфабрикаты; показатель влагопоглощения; гидратационная способность; жиросодержащая способность; эмульгирование.

Табл.: 2. Рис.: 3. Библ.: 11.

**Федорова Діна Володимирівна** – кандидат технічних наук, докторант, доцент кафедри технології та організації ресторанного господарства, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Федорова Дина Владимировна** – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры технологии и организации ресторанного хозяйства, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Fedorova Dina** – PhD in Technical Sciences, Doctoral, Associate Professor of Department of Technology and restaurant service, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** dina\_fedorova@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9443-2941>

УДК 664.64.016.8

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-228-234

Інна Данилюк

## ТЕХНОЛОГІЯ ПРІСНОГО ТІСТА ІЗ ПОРОШКОМ *ATHERINA PONTICA* ТА БОРОШНОМ ПРОРОЩЕНОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦІ

**Актуальність теми дослідження.** Використання композитних сумішей із традиційних та нетрадиційних добавок замість традиційного борошна у технологіях прісного тіста впливають на структурно-механічні властивості тіста, концентрація яких визначає кількість сирої та сухої клейковини, пружність та розтяжність.

**Постановка проблеми.** Покращити харчову та біологічну цінність борошняних кулінарних виробів з прісного тіста можливо шляхом моделювання багатокомпонентного складу композитних сумішей для його виробництва. Розробка технологій борошняних кулінарних виробів із прісного тіста на основі композитних сумішей із порошком *A. pontica* та борошно пророщеного зерна пшениці замість традиційного борошна дозволить підвищити харчову та біологічну цінність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Багато наукових праць зосереджено на проблематиці збагачення борошняних виробів із прісного тіста за рахунок багатокомпонентного складу сировини та рекомендаціям щодо їх концентрацій у технологіях.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більшість досліджень спрямовані на використання нетрадиційної сировини у борошняних кулінарних виробках, проте відсутня інформація відносно використання продуктів переробки дрібних азово-чорноморської риби, а саме порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у технологіях борошняних кулінарних виробів та визначення концентрацій добавок і їх впливу на якість прісного тіста та виробів з нього.

**Метою роботи є** визначення раціональних концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у технологіях прісного тіста та їх вплив на якість клейковини прісного тіста та сенсорні показники.

**Викладення основного матеріалу.** Досліджено вплив концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці на показники якості клейковини прісного тіста, зокрема кількості сирої та сухої клейковини, пружності та розтяжності, а також проведена сенсорна оцінка композитних сумішей за кольором, запахом. Встановлено раціональне співвідношення борошна вищого сорту, порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у співвідношенні 6 : 1 : 3. Досліджено хімічний склад розробленої композитної суміші для прісного тіста.

**Висновки відповідно до статті.** Проведені дослідження дозволили встановити, що від вмісту концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці значною мірою залежить якість прісного тіста, зокрема їх вплив на кількість сирої та сухої клейковини, пружність і розтяжність. Дослідження дозволили встановити раціональну концентрацію добавок у композитній суміші для прісного тіста 6:1:3. Розроблена композитна суміш за хімічним складом характеризується покращеним вмістом нутрієнтів.

**Ключові слова:** порошок *A. pontica*; борошно пророщеного зерна пшениці; композитна борошняна суміш; якість клейковини; прісне тісто.

Табл.: 3. Бібл.: 11.

**Постановка проблеми.** Завданням сучасної харчової технології є виробництво високоякісних продуктів із заздалегідь визначеними хімічним складом, харчовою цінністю та функціональними властивостями. У харчуванні людини значне місце посідають борошняні кулінарні вироби із прісного тіста (пельмені, вареники, локшина та ін.), які користуються попитом у населення завдяки приємному зовнішньому вигляду та гарним смаковим якостям. За рахунок застосування різних фаршів асортимент страв із прісного тіста досить різноманітний.

Основним недоліком борошняних кулінарних виробів з прісного тіста, вироблених за традиційними рецептурами, є їх низька харчова цінність, обумовлена високим вмістом крохмалю, низьким вмістом харчових волокон, вітамінів, мінеральних нутрієнтів [1].

Основним компонентом рецептури борошняних кулінарних виробів із прісного тіста є борошно вищого гатунку, воно має низьку біологічну цінність, відповідно вироби, виготовлені на його основі, характеризуються недостатнім вмістом мінеральних речовин та вітамінів [2].

Покращити харчову та біологічну цінність борошняних кулінарних виробів з прісного тіста можливо завдяки моделюванню багатокомпонентного складу композитних сумішей для його виробництва. Розробка таких композитних сумішей та їх використання в рецептурах замість традиційного борошна вищого гатунку дозволить створити вироби якісно нові за харчовою та біологічною цінністю.

Досягнути цього можливо, якщо використовувати в технологіях борошняних кулінарних виробів різні види традиційних та нетрадиційних добавок, які дозволять розширити асортимент борошняних кулінарних виробів з підвищеною харчовою цінністю за



рахунок збагачення їх незамінними біологічно активними речовинами, макро-, мікро-нутрієнтами та вітамінами.

Серед можливих шляхів вирішення цієї проблеми є використання натуральних харчових продуктів, що містять значну кількість функціональних інгредієнтів рослинного та тваринного походження.

Проведений аналіз складу борошняних кулінарних виробів із прісного тіста показав, що всі вони характеризуються великою кількістю вуглеводів та недостатню кількість білків та мінеральних речовин. Тому перспективним вбачається розробка композитної суміші для їх виробництва із використанням порошку *A. pontica* [3] та борошна пророщеного зерна пшениці, отриманого із цільнозмеленого зерна пшениці попередньо пророщеного у розчині морської харчової солі (борошно «Здоров'я») [4].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Статистичні дані за останні роки свідчать про значне зниження в Україні споживання біологічно цінних продуктів (м'ясопродукти на 37 %, молокопродукти – 38,8 %, риба і продукти її переробки – 81 %, яйця – 37,5 %, фрукти та овочі – 49 %), які є джерелом білка, незамінних амінокислот, вітамінів, мікро-та макроелементів. Проте спостерігається стабільно високий рівень споживання хлібобулочних, борошняних кулінарних виробів, тваринних жирів, зернобобових, картоплі [5].

Проблемі виготовлення борошняних кулінарних виробів підвищеної харчової цінності присвячено роботи відомих учених: Л. І. Пучкової, Р. Д. Поландової, В. І. Дробот, А. М. Дорохович, Л. Ю. Арсенєвої, В. Ф. Доценка, В. О. Моргун, Т. Б. Циганової, Г. М. Лисюк та багатьох інших. Борошняні вироби та страви з них є зручним об'єктом для збагачення їх різним вмістом біологічно активних і поживних речовин, що дозволяє отримати вироби підвищеної харчової та біологічної цінності з високими органолептичними та фізико-хімічними показниками якості [6; 7; 8].

Останнім часом у харчовій промисловості знаходять широке застосування харчові добавки різного принципу дії, необхідність застосування яких обумовлена нестабільною якістю борошна, різноманітністю функціональних властивостей сировини, розширенням асортименту продукції і поліпшенням хімічного складу. Поліпшення хімічного складу виробів з метою підвищення їх харчової цінності є одним із шляхів створення виробів нового покоління. Досягається це завдяки виробництву композитних борошняних сумішей з різних зернових культур та використанням традиційних та нетрадиційних добавок [9].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Аналіз публікацій показав, що дослідженню питання використання нетрадиційної сировини у борошняних кулінарних виробах присвячено багато праць вітчизняних та закордонних науковців. У результаті проведеного аналізу також виявлено, що відсутня інформація відносно використання продуктів переробки дрібної азово-чорноморської риби, як нетрадиційної сировини, а саме порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у технологіях борошняних кулінарних виробів та визначення концентрацій добавок і їх впливу на якість прісного тіста.

**Мета статті.** Головною метою цієї статті є визначення раціональних концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у технологіях прісного тіста та їх вплив на якість клейковини прісного тіста та сенсорні показники.

**Виклад основного матеріалу.** Попередньо проведені дослідження порошку *A. pontica* дозволили визначити його харчову цінність та функціонально-технологічні властивості, що визначили його перспективність використання у технології прісного тіста, яке є основою для приготування борошняних кулінарних виробів.

Перспективним є розробка композитної суміші із порошком *A. pontica* та борошном пророщеного зерна пшениці для борошняних кулінарних виробів із прісного тіста, яка дозволить підвищити харчову і біологічну цінність борошняних кулінарних виробів на

його основі та дозволить отримати продукти, збагачені фізіологічно важливими для організму людини речовинами.

Особливістю порошку *A. pontica* є високий вміст повноцінних білків із збалансованим амінокислотним складом, мінеральних речовин, зокрема кальцію ( $2745 \pm 8,4$  мг/100 г), магнію ( $124,6 \pm 9,1$  мг/100 г), фосфору ( $192,5 \pm 7,3$  мг/100 г) та високий ступінь подрібнення (розмір часточок основної фракції становить до 150 мкм). Борошно пророщеного зерна пшениці визначається високим вмістом клітковини (8,7 г/100 г), вітамінів, зокрема  $B_1$  (0,76 мг),  $B_2$  (0,39 мг),  $B_3$  (7,02 мг),  $B_6$  (0,88 мг),  $B_9$  (0,08 мг), мікро- та мікроелементів: залізо – 5,31 мг, цинк – 2,67 мг, купрум – 32,00 мг, йод – 491,00 мг, кальцій – 82,00 мг, фосфор – 110,00 мг, магній – 160,00 мг, калій – 348,00 мг [10].

Безсумнівною перевагою порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці є їх висока харчова цінність, обумовлена порівняно високим вмістом білків, збалансованого амінокислотного складу, мікро- та макроелементів, вітамінів групи В, харчових волокон. Тому для підвищення біологічної та харчової цінності планується розробити композитну суміш, яка в подальшому використовуватиметься в рецептурі борошняних кулінарних виробів із прісного тіста замість пшеничного борошна вищого гатунку.

Відомо, що білки, крохмаль, клітковина та інші складові нетрадиційної сировини суттєво впливають на якість клейковини прісного тіста, міра такого впливу визначається кількістю внесеної сировини. Проведення реологічних досліджень викликані необхідністю вивчення впливу добавок на якість прісного тіста, оскільки від рецептурного співвідношення складу суміші та хімічного складу рецептурної сировини, яка входить до її складу, залежатиме ефективність технологічного процесу приготування борошняних кулінарних виробів із прісного тіста.

Рациональну концентрацію порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці визначали з урахуванням зміни якості клейковини, а саме кількості сухої та сирої клейковини, пружності та розтяжності і сенсорної оцінки: колір, запах, консистенція.

Враховуючи проведені лабораторні дослідження приготування виробів з модельних тістових композицій, порошок *A. pontica* використовували в концентрації 5...20 %, борошно пророщеного зерна пшениці – 10...50 % від маси пшеничного борошна вищого гатунку. Тому що внесення добавок менше 5 та 10 % відповідно є недоцільним з огляду на підвищення харчової та біологічної цінності, а більше 20 та 50 % – призводить до суттєвого погіршення органолептичних показників якості готових виробів з композитної суміші.

Вплив концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці на властивості клейковини прісного тіста наведені в табл. 1, 2.

Таблиця 1

Вплив порошку *A. pontica* на властивості клейковини прісного тіста

Показник якості клейковини	Значення показника в зразках				
	Контроль	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3	Дослід 4
Кількість сирої клейковини, %	$28,3 \pm 1,2$	$27,6 \pm 1,1$	$27,0 \pm 1,2$	$26,2 \pm 1,2$	$25,4 \pm 1,1$
Кількість сухої клейковини, %	$9,9 \pm 0,3$	$9,8 \pm 0,2$	$9,6 \pm 0,1$	$9,4 \pm 0,1$	$9,2 \pm 0,1$
Пружність на приладі ІДК, од. приладу	$80 \pm 4$	$76 \pm 3$	$72,2 \pm 2$	$66 \pm 2$	$61 \pm 1$
Розтяжність, см	$15,0 \pm 0,6$	$14,5 \pm 0,6$	$14,0 \pm 0,4$	$13,0 \pm 0,4$	$12,0 \pm 0,4$

Примітка: Контроль – прісне тісто виготовлене за традиційною технологією

Дослід 1 – 5 % порошку *A. pontica* до маси борошна вищого сорту

Дослід 2 – 10 % порошку *A. pontica* до маси борошна вищого сорту

Дослід 3 – 15 % порошку *A. pontica* до маси борошна вищого сорту

Дослід 4 – 20 % порошку *A. pontica* до маси борошна вищого сорту

Таблиця 2

*Вплив борошна пророщеного зерна пшениці на властивості  
клейковини прісного тіста*

Показник якості клейковини	Значення показника в зразках					
	Контроль	Дослід 5	Дослід 6	Дослід 7	Дослід 8	Дослід 9
Кількість сирої клейковини, %	28,3 ± 1,2	27,8 ± 1,1	27,3 ± 1,2	27,0 ± 1,2	26,6 ± 1,1	26,1 ± 1,2
Кількість сухої клейковини, %	9,9 ± 0,3	9,8 ± 0,2	9,7 ± 0,1	9,6 ± 0,1	9,3 ± 0,1	9,1 ± 0,1
Пружність на приладі ІДК, од. приладу	80 ± 4	78 ± 3	75 ± 2	72 ± 2	70 ± 1	66 ± 1
Розтяжність, см	15,0 ± 0,6	15,0 ± 0,6	14,5 ± 0,4	14,0 ± 0,4	13,0 ± 0,4	12,0 ± 0,3

Примітка: Контроль – прісне тісто виготовлене за традиційною технологією

Дослід 5 – 10 % борошна пророщеного зерна пшениці до маси борошна вищого сорту

Дослід 6 – 20 % борошна пророщеного зерна пшениці до маси борошна вищого сорту

Дослід 7 – 30 % борошна пророщеного зерна пшениці до маси борошна вищого сорту

Дослід 8 – 40 % борошна пророщеного зерна пшениці до маси борошна вищого сорту

Дослід 9 – 50 % борошна пророщеного зерна пшениці до маси борошна вищого сорту

З отриманих даних видно, що внесення порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці призводить до зниження кількості та якості сирої та сухої клейковини у порівнянні із контрольним зразком. Так, при внесенні порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна спостерігається зниження вмісту сухої клейковини на 2,3 і 8,8 % та 1,7 і 7,8 % відповідно, а сухої на 1,01 і 7,07 % та 1,01 і 8,08 % відповідно.

Внесення порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці надає значного зміцнювального ефекту клейковинним білкам пшеничного борошна, що свідчить про зменшення показника пружності клейковини в дослідних зразках № 1–4 на 5...23,7 %, № 5–9 на 2,5...17,5 %. Додавання 5...20 % порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у концентрації 20...50 % сприяє зниженню розтяжності клейковини на 3,3...20 %.

Проведене сенсорне оцінювання композитних сумішей із борошном вищого сорту, порошком *A. pontica* та борошном пророщеного зерна пшениці дозволило встановити, що під час збільшення концентрації порошку *A. pontica* більше ніж 10 % спостерігалось зниження показників сенсорної оцінки модельних тістових композицій, а при концентрації борошна пророщеного зерна пшениці більше ніж 30 % дослідні зразки характеризувались нижчими показниками якості, а саме суттєвого погіршення кольору модельних тістових композицій та відчутного збільшення вираженості рибного запаху.

Отже, з результатів досліджень якості прісного тіста та сенсорного оцінювання можна зробити висновок, що під час створення композитної борошняної суміші, стосовно мінімальної зміни реологічних властивостей прісного тіста на основі композитної борошняної суміші та покращених органолептичних показників модельних тістових композицій встановлено раціональне співвідношення борошна вищого сорту, порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці у співвідношенні 6:1:3.

Досліджено хімічний склад розробленої композитної суміші та проведений порівняльний аналіз у порівнянні із традиційним борошном пшеничним вищого гатунку. Результати наведені в табл. 3.

Таблиця 3

*Хімічний склад композитної борошняної суміші із порошком *A. pontica*  
та борошном пророщеного зерна пшениці (на 100 г),  $p \leq 0,05$*

Показники	Борошно пшеничне вищого сорту [11]	Композитна борошняна суміш
1	2	3
Вода, г	14,50 ± 0,5	13,7 ± 0,6
Білки, г	10,30 ± 0,4	16,48 ± 0,7
Ліпіди, г	1,10 ± 0,05	1,47 ± 0,04

1	2	3
Вуглеводи, г, у т.ч.:	69,00 ± 3,5	62,49 ± 3,25
- крохмаль	68,70 ± 2,1	59,34 ± 1,85
- моно- і дисахариди	0,20 ± 0,01	0,48 ± 0,04
- клітковина	0,10 ± 0,01	2,67 ± 0,3
Зола, г	0,50 ± 0,02	1,7 ± 0,03
Мінеральні речовини:		
Макроелементи, мг:		
Кальцій	18,00 ± 0,5	309,9 ± 5,6
Фосфор	86,00 ± 4,1	103,85 ± 6,8
Магній	16,00 ± 0,7	70,06 ± 10,3
Калій	122,00 ± 10,0	206,9 ± 11,7
Мікроелементи, мкг:		
Залізо	1,20 ± 0,06	2,57 ± 0,43
Цинк	0,02 ± 0,003	0,86 ± 0,05
Купрум	0,10 ± 0,002	15,66 ± 0,6
Йод	0,015 ± 0,0004	147,31 ± 21,9
Вітаміни, мг		
B <sub>1</sub> (тіамін)	0,17 ± 0,02	0,33 ± 0,03
B <sub>2</sub> (рибофлавін)	0,04 ± 0,002	0,16 ± 0,03
B <sub>3</sub> (нікотинова кислота)	1,29 ± 0,04	0,91 ± 0,02
B <sub>6</sub> (піридоксин)	0,16 ± 0,002	0,37 ± 0,02
B <sub>9</sub> (фолієва кислота)	0,03 ± 0,003	0,04 ± 0,002
B <sub>12</sub> (ціанокобаламін)	–	0,002 ± 0,001
Енергетична цінність, ккал	327,1	329,2

Як свідчать наведені в табл. 3 дані, розроблена композитна суміш із борошном вищого гатунку, порошком *A. pontica* та борошном пророщеного зерна пшениці в розчині морської солі характеризуються підвищеним вмістом поживних речовин, зокрема вміст білка на 60 % вищий, ніж у борошні вищого гатунку, вміст ліпідів збільшився на 34 %, вміст вуглеводів знизився на 9,5 %. Поліпшився вміст мінеральних речовин, зокрема кальцій у 17,6 разу, фосфор – 1,2 разу, магній – 4,4 разу, калій – 1,7 разу. Відзначається підвищений вміст вітамінів групи В.

**Висновки.** Проведені дослідження дозволили встановити, що від вмісту концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці значною мірою залежить якість прісного тіста. Проаналізовано вплив концентрацій порошку *A. pontica* та борошна пророщеного зерна пшениці на кількість сирової та сухої клейковини, пружність і розтяжність. Дослідження показників якості клейковин прісного тіста та його сенсорні показники дозволили встановити раціональну концентрацію добавок у композитній борошняній суміші для прісного тіста – 6:1:3. Розроблена композитна суміш характеризується покращеним вмістом нутрієнтів у порівнянні із борошном вищого гатунку.

#### Список використаних джерел

1. Сирохман І. В. Товарознавство харчових продуктів функціонального призначення : навчальний посібник / І. В. Сирохман, В. М. Завгородня. – К. : Центр учбової літератури, 2009. – 544 с.
2. Моргун В. А. Мучные композиционные смеси / В. А. Моргун, О. С. Волошенко // Хлібопродукти: Технологія та якість. – 2011. – № 3 (43). – С. 15–18.
3. Кравченко М. Ф. Кінетика процесу сушіння рибного концентрату із атерини чорноморської / М. Ф. Кравченко, С. Л. Шаповал, І. П. Данилюк // Товари і ринки. – 2017. – № 1. – С. 131–139.
4. Кравченко М. Ф. Якість борошна із зерна пшениці, пророщеного в розчині морської харчової солі / М. Ф. Кравченко, М. Ю. Криворучко, Т. М. Поп // Товари і ринки. – 2012. – № 2. – С. 106–111.
5. Сучасний стан питання якості та безпечності зерна та зернопродуктів в Україні / [Л. М. Хомічак, Г. Д. Гуменюк, Л. В. Баль-Прилипко, Ю. В. Слива] // Хлебопекарское и кондитерское дело. – 2010. – № 3. – С. 26–29.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Дробот В. І. Харчові добавки та їх функціональна роль у технологічному процесі / В. І. Дробот // *Хранение и переработка зерна*. – 2003. – № 9. – С. 25–27.

7. *Технологія продуктів харчування функціонального призначення* / [М. І. Пересічний, М. Ф. Кравченко, Д. В. Федорова та ін.]. – К. : Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2008. – 718 с.

8. Моргун В. А. Пищевая ценность композиционных смесей из муки различных зерновых культур / В. А. Моргун, Д. А. Жигунов, О. С. Крошко // *Хранение и переработка зерна*. – 2005. – № 11. – С. 20–21.

9. Крошко О. С. Розробка технології виробництва борошняних сумішей підвищеної харчової цінності : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.02 «Технологія зернових, бобових, круп'яних продуктів та комбікормів» / О. С. Крошко ; Одес. нац. акад. харч. технологій. – Одеса, 2006. – 20 с.

10. Поп Т. М. Технологія пісочних кондитерських виробів з порошком листя волоського горіха : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.16 / Т. М. Поп ; Київ. нац. торг.-екон. ун-т. – К., 2017. – 22 с.

11. Скурихин И. М. Химический состав российских пищевых продуктов / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. – М. : ДеЛи принт, 2002. – 236 с.

## References

1. Syrokhman, I.V., Zavhorodnia, V.M. (2009). *Tovaroznavstvo kharchovykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia* [Commodity science of food products of functional purpose]. Kyiv: Centr uchbovoyi literatury (in Ukrainian).

2. Morgun, V. A., Voloshenko, O. S. (2011). Muchnye kompozitsionnye smesi [Flour composition mixtures]. *Khliboprodukty: Tekhnologiya ta yakist – Bread products: Technology and quality*, no. 3 (43), pp. 15–18 (in Russian).

3. Kravchenko, M.F., Shapoval, S.L., Danylyuk, I.P. (2017). Kinetyka protsesu sushinnia rybnoho kontsentratu iz ateryny chornomorskoï [Kinetics of the process of drying fish concentrate from atherina pontica]. *Tovary i rynky – Goods and Markets*, no. 1 (43), pp. 131–139 (in Ukrainian).

4. Kravchenko, M.F., Kryvoruchko, M.Yu., Pop, T.M. (2012). Yakist boroshna iz zerna pshenytsi, proshchenoho v rozchyni morskoi kharchovoi soli [Quality of flour from wheat grains sprouted in a solution of marine food salt]. *Tovary i rynky – Goods and Markets*, no. 2 (33), pp. 106–111 (in Ukrainian).

5. Khomichak, L. M., Humenyuk, G. D., Bal-Prylypko, L. V., Slyva, Yu. V. (2010). Suchasnyi stan pytannia yakosti ta bezpechnosti zerna ta zernoproduktiv v Ukrayini [The current state of the issue of quality and safety of grain and grain products in Ukraine]. *Khlebopekarskoe i konditerskoe delo – Bakery and confectionery*, no. 3, pp. 26–29 (in Ukrainian).

6. Drobot, V.I. (2003). Kharchovi dobavky ta ikh funktsionalna rol u tekhnolohichnomu protsesi [Nutritional supplements and their functional role in the technological process]. *Khranenie i pererabotka zerna – Storage and processing of grain*, no. 9, pp. 25–27 (in Ukrainian).

7. Peresichnyi, M.I., Kravchenko, M.F., Fedorova, D.V. et al. (2008). *Tekhnolohiya produktiv kharchuvannia funktsionalnoho pryznachennia* [The technology of the product of the harvested functional recognition]. Kyiv : Kyiv. nats. torг.-ekon. un-t (in Ukrainian).

8. Morgun, V.A., Zhigunov, D.A., Kroshko, O.S. (2005). Pishchevaia tsennost kompozitsionnykh smesei iz muki razlichnykh zernovykh kultur [Nutritional Value of Composition Mixtures from Flour from Various Cereals]. *Khranenie i pererabotka zerna – Storage and processing of grain*, no. 11, pp. 20–21 (in Ukrainian).

9. Kroshko, O.S. (2006). Rozrobka tekhnolohii vyrobnytstva boroshnianykh sumishei pidvyshechoi kharchovoi tsinnosti [Development of technology for the production of flour mixes of high nutritional value]. *Extended abstract of Candidates thesis*. Odessa (in Ukrainian).

10. Pop, T.M. (2017). Tekhnolohiia pisochnykh kondyterskykh vyrobiv z poroshkom lystia voloskoho horikha [Technology of sandy confectionery products with powder of leaves of walnut]. *Extended abstract of Candidates thesis*. Kyiv (in Ukrainian).

11. Skurikhin, I.M., Tutelian, V.A. (2002). *Khimicheskii sostav rossiskikh pishchevykh produktov* [The chemical composition of Russian food products]. Moscow: DeLi print (in Russian).

UDC 664.64.016.8

Inna Danylyuk

## TECHNOLOGY OF UNLEAVENED DOUGH FROM *ATHERINA PONTICA* POWDER AND FLOUR FROM GERMINATED SEEDS OF WHEAT

**Urgency of the research.** The use of composite mixtures from traditional and non-traditional additives, instead of traditional flour in unleavened dough technologies, affects the structural and mechanical properties of dough, the concentration of which determines the amount of crude and dry gluten, elasticity and elongation.

**Target setting.** To improve the nutritional and biological value of floury culinary products from unleavened dough is possible by modeling the multicomponent composition of composite mixtures for its production. The development of technologies for flour products from unleavened dough based on composite mixtures with *A. pontica* powder and flour of wheat germ, instead of traditional flour, will increase the nutritional and biological value.

**Actual scientific researches and issues analysis.**

A lot of scientific works are focused on the problem of enrichment of flour products from unleavened dough due to multicomponent composition of raw materials and recommendations for concentrating in technologies.

**Uninvestigated parts of general matters.**

Most of the research is focused on the use of non-traditional raw materials in floury culinary products, but there is no information on the use of products processed by small Azov-Black Sea fish, namely *A. pontica* powder and wheat germ flour in flour culinary technology and the determination of additive concentrations and their effect on quality unleavened dough and products from it.

**The research objective** is to determine the rational concentrations of *A. pontica* powder and flour of wheat germ in unleavened dough technologies and their effect on the quality of gluten unleavened dough and sensory indices.

**The statement of basic materials.** The influence of the concentrations of *A. pontica* powder and wheat flour on the parameters of quality of gluten of fresh dough, in particular the amount of raw and dry gluten, elasticity and elongation, as well as the sensory evaluation of composite mixtures by color, odor, have been investigated. The rational ratio of high quality flour, *A. pontica* powder and wheat germ flour in the ratio of 6: 1: 3 was determined. The chemical composition of the developed composite mixture for unleavened dough was investigated.

**Conclusions.** The conducted studies allowed to determine that the quality of the unleavened dough depends on the concentration of *A. pontica* powder and sprouted wheat flour, in particular their influence on the amount of crude and dry gluten, the elasticity and elongation. The research allowed establishing a rational concentration of additives in the composite mixture for a unleavened dough of 6: 1: 3. The developed composite mixture according to the chemical composition is characterized by an improved nutrient content.

**Key words:** *A. pontica* powder; flour of wheat germ; composite flour mixture; quality of gluten; unleavened dough.

Tabl.: 3. Bibl.: 11.

УДК 664.64.016.8

Инна Данылюк

## ТЕХНОЛОГИЯ ПРЕСНОГО ТЕСТА С ПОРОШКОМ *ATHERINA PONTICA* И МУКИ ПРОРОЩЕННОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Исследовано влияние порошка *A. pontica* и муки пророщенного зерна пшеницы на изменение качества клейковины пресного теста. Получены данные о влиянии концентраций добавок на реологические свойства и сенсорные показатели качества пресного теста. Определены рациональные концентрации порошка *A. pontica* и муки пророщенного зерна пшеницы в композитной мучной смеси для пресного теста. Исследован и проанализирован химический состав разработанной смеси.

**Ключевые слова:** порошок *A. pontica*; мука пророщенного зерна пшеницы; композитная мучная смесь; качество клейковины; пресное тесто.

Табл.: 3. Библ.: 11.

**Данылюк Інна Петрівна** – аспірант КНТЕУ, старший викладач кафедри технології і організації ресторанного господарства, Чернівецький торговельно-економічний інститут КНТЕУ (Центральна площа, 7, м. Чернівці, 58000, Україна).

**Данылюк Инна Петровна** – аспирант КНТЭУ, старший преподаватель кафедры технологии и организации ресторанного хозяйства, Черновицкий торгово-экономический институт КНТЭУ (Центральная площадь, 7, г. Черновцы, 58000, Украина).

**Danylyuk Inna** – Postgraduate student of KNTEU, Senior Lecturer of the Department of Technology and Organization of Restaurant Industry, Chernivtsi Trade and Economics Institute of KNTEU (7 Central Square, 58000 Chernivtsi, Ukraine).

**E-mail:** cherep\_inna@ukr.net

*Natalia Protsan, Sergiy Oliynichuk, Sergiy Verbytskyi***EFFECT OF ALKYLRESORCINOLS DERIVATIVES  
ON THE ACTIVITY OF ENZYME PREPARATIONS**

**Target setting.** Rye is known to be a stubborn raw material for the industrial production of alcohol because of alkylresorcinols contained in grain of the said crop these effecting the enzymes of amylase complex in the negative way. Thus it is important to find and scientifically substantiate proper deactivating substances for batches preparation stabilizing enzyme activity without increase of normative consumption rates of enzyme preparations.

**Actual scientific research and issues analysis.** Outer cuticle shell of rye grain contains alkylresorcinols – compounds of resorcin and alkyls of different chain length and odd number of carbon atoms. The presence of alkylresorcinols containing carbon atoms is characteristic for rye only. While grinding grain, the most part of alkylresorcinols remains in bran. When effected by high temperatures alkylresorcinols partly disintegrate, and in alcohol production alkylresorcinols retain their native form and effect the activity of enzyme preparations in negative way.

**Defining of uninvestigated parts of general matter.** Objects of research were: rye, fractions obtained while grinding; batches and wort made of rye mill under the conditions of low temperature digestion with the use of enzyme preparations of alpha- and glucoamylase action and auxiliary cytolytic enzyme preparations, mature mash. To fulfill the research, media were prepared of rye mill and water, rye bran was added as a source of alkylresorcinols; fermentative hydrolysis of starch was fulfilled with the use of «Novozymes» enzyme preparations.

**The research objective.** The aim of the research was to determine the effect of alkylresorcinols derivatives upon the saccharifying ability of wort and to choose substances to neutralize alkylresorcinols.

**The statement of basic materials.** The efficiency of catalytic activity of enzyme preparation during wort fermentation is effected by a number of factors, the index of saccharifying ability of wort being an index of activity of enzyme preparations. The research of deactivating alkylresorcinols derivatives with different substances was fulfilled to confirm or to reject the said assumption. For the research, food grade sodium bicarbonate, ammonia water and sodium hydroxide solution were used as deactivators.

**Conclusions and proposals.** The alkylresorcinols contained in rye effect enzyme preparations of alpha amylitic action in the negative way. The neutralization of alkylresorcinol derivatives promotes retention of enzyme preparations activity along the entire fermentation period of the media. The use of ammonia water and lactic acid at the stage of batches preparation positively influences the fermentation activity of yeast owing to the media enrichment with a source of nitrogen and increases alcohol content in mature mash.

**Key words:** alcohol; alkylresorcinol derivatives; enzyme preparations; bran; fermentation; mash; rye; saccharifying ability; starch; wort.

Fig.: 1. Tabl.: 3. Bibl.: 8.

**Target setting.** Rye is known as stubborn raw material for the industrial production of alcohol because of alkylresorcinols contained in grain of the said crop these effecting the enzymes of amylase complex in the negative way. Thus it is important to find and scientifically substantiate proper deactivating substances for batches preparation stabilizing enzyme activity without increase of normative consumption rates of enzyme preparations

**Actual scientific research and issues analysis.** Outer cuticle shell of rye grain is known [1] to contain alkylresorcinols – compounds of resorcin and alkyls of different chain length and odd number of carbon atoms ranging from 15 to 23. Their content in rye grains amounts as much as 40 % of cuticle volume. The presence of alkylresorcinols containing 15 carbon atoms is characteristic for rye only this being the principal negative factor effecting the enzymes of amylase complex [2].

The negative effect of rye grain under the conditions of uniform feeding of agricultural animals was recorded it is being connected with the presence of 5-alkylresorcinols in grain, these being known as toxic substances for live organisms [3, 4].

While grinding grain, the most part of alkylresorcinols remains in bran. When effected by temperatures higher than 100 °C alkylresorcinols partly disintegrate [5], and in alcohol production alkylresorcinols retain their native form and effect the activity of enzyme preparations in negative way.

**Defining of uninvestigated parts of general matter.** We considered it necessary to study such objects of research as: rye (containing 57.1 % of starch), fractions obtained while grinding (mill of the sizing corresponding to 95 % passage through the sieve of 1 mm mesh, bran); batches and wort made of rye mill under the conditions of low temperature digestion with the

use of enzyme preparations of alpha- and glucoamylase action and auxiliary cytolytic enzyme preparations, mature mash.

To fulfill the research, media were prepared of rye mill and water (hydromodule 1:3), rye bran was added as a source of alkylresorcinols; fermentative hydrolysis of starch was fulfilled with the use of «Novozymes» enzyme preparations: thinning enzyme preparation was added calculated as 1 unit of activity per 1 g of starch, saccharifying enzyme preparation calculated as 6 units of activity per 1 g of starch and enzyme preparation of cytolytic action calculated as 0,015 cm<sup>3</sup> per 100 g of mill; batches were digested by the temperature of 65 °C for 2,5 h, the batches were saccharified by the temperature of 58 °C for 1 h. Alcohol fermentation was held by XII-T yeast race by the temperature of 30-32 °C for 72-80 h.

The analyses of mature mash and the fermentation process were fulfilled according to the methods typical for alcohol production [6,7].

**The research objective.** The aim of the research was to determine the effect of alkylresorcinols derivatives (ARD) upon the saccharifying ability of wort and to choose substances to neutralize alkylresorcinols.

**The statement of basic materials.** The digested batch (under optimal temperature conditions) for the period of 1 h can be saccharified for 70-75 % only that is why the additional saccharification is important to occur also during wort fermentation. The efficiency of catalytic activity of enzyme preparation during wort fermentation is effected by a number of factors, the index of saccharifying ability (SA) of wort being an index of activity of enzyme preparations.

The results of research aiming in determination of the effect of alkylresorcinols derivatives upon the activity of enzyme preparations by the parameters of SA are shown in table 1.

It can be seen from the data adduced in Table 1 that for the control, rye bran having been added to, the parameter of saccharifying ability was 1,2 units/100 cm<sup>3</sup> of brot, this being 2,75 less than the value of saccharifying ability of control without any rye bran added.

After first 24 h of fermentation the parameter of saccharifying ability of brot could not be detected and one of the probable reasons for decrease in enzyme preparations activity is the presence of alkylresorcinols in rye bran, these acting as inhibitors of enzyme preparations activity.

Table 1

*Parameters of saccharifying ability of wort*

Duration of fermentation	Parameters of saccharification ability, units/100 cm <sup>3</sup> of wort	
	control (wheat starch)	experiment (wheat starch + rye bran)
Brot after saccharification	3,3	1,2
24 h	2,4	none
48 h	1,3	none
72 h	0,8	none

The research of deactivating alkylresorcinols derivatives with different substances was fulfilled to confirm or to reject the said assumption.

It should be mentioned that alkylresorcinols derivatives can be deactivated in the media their pH value ranging from 10 to 11 units [5].

For the research, food grade sodium bicarbonate (variant I), ammonia water (variant II) and sodium hydroxide solution (variant III) were used as deactivators, these having been added to rye batches before addition of enzyme preparations providing that pH values of batches are within the range from 10 to 11 units.

After holding for 25-30 min under such conditions to renew pH values of batches, these were acidulated with N-solution of lactic acid to the values to be in the range from 6,0 to 6,3 units. The batches obtained were digested, saccharified and used for fermentation. The results for the mature mashes obtained are given in Table 2.



Table 2

*Parameters of mature mashes*

Parameter	Variants			
	I	II	III	Control
Alcohol content, vol. %	6,8	7,4	7,0	7,25
pH of medium, units	4,5	4,55	4,6	4,4
Acidity, grad	0,56	0,54	0,4	0,6
Carbohydrates not fermented, g/100cm <sup>3</sup> :				
- total	0,65	0,38	0,58	0,64
- water soluble	0,52	0,35	0,56	0,53
- starch not dissolved	0,12	0,03	0,11	0,1

The analysis of the results obtained makes it possible to conclude that the neutralization of ARD with ammonia water (variant II) allowed to get the most significant alcohol content amounting to 7,4 vol.%, this exceeding the control by 0,15 vol.%, while the content values of the water soluble carbohydrates not fermented and of starch not fermented were the lowest amounting to 0,38 % (by 40,6 % less) and 0,03 % (by 70 % less) correspondingly, when comparing to the values for the control variant. The amount of reducing substances can be assumed to increase due to fuller starch hydrolysis while using ammonia water at the stage of batch preparation, this resulting in higher alcohol content.

A peculiarity of the chemical composition of rye shall be mentioned, this including a significant amount of the polysaccharides non-starch and slime, these determining rye as raw material difficult for processing comparing to other crops. According to literature data [8], the increase in enzyme preparations consumption compared to normative consumption rates is allowed: up to 25 % for alpha-amylase and up to 15 % for glucoamylase.

One of the reasons to increase normative consumption rates of enzyme preparations is the negative effect of the alkylresorcinols derivatives on the activity of the sad preparations. For the reason the research of rye wort fermentation with preliminary neutralization of ARD was fulfilled. There were the following variants of wort preparation for the research: control – consumption rate of enzyme preparation – 1,15 units per 1 g of starch; variant I – consumption rate of enzyme preparation – 1 unit per 1 g of starch; variant II – consumption rate of enzyme preparation – 1 unit per 1 g of starch providing that ammonia water is used. The results obtained during the research are given in Table 3.

Table 3

*Parameters of mature mashes providing that ARD are neutralized at the stage of batch preparation*

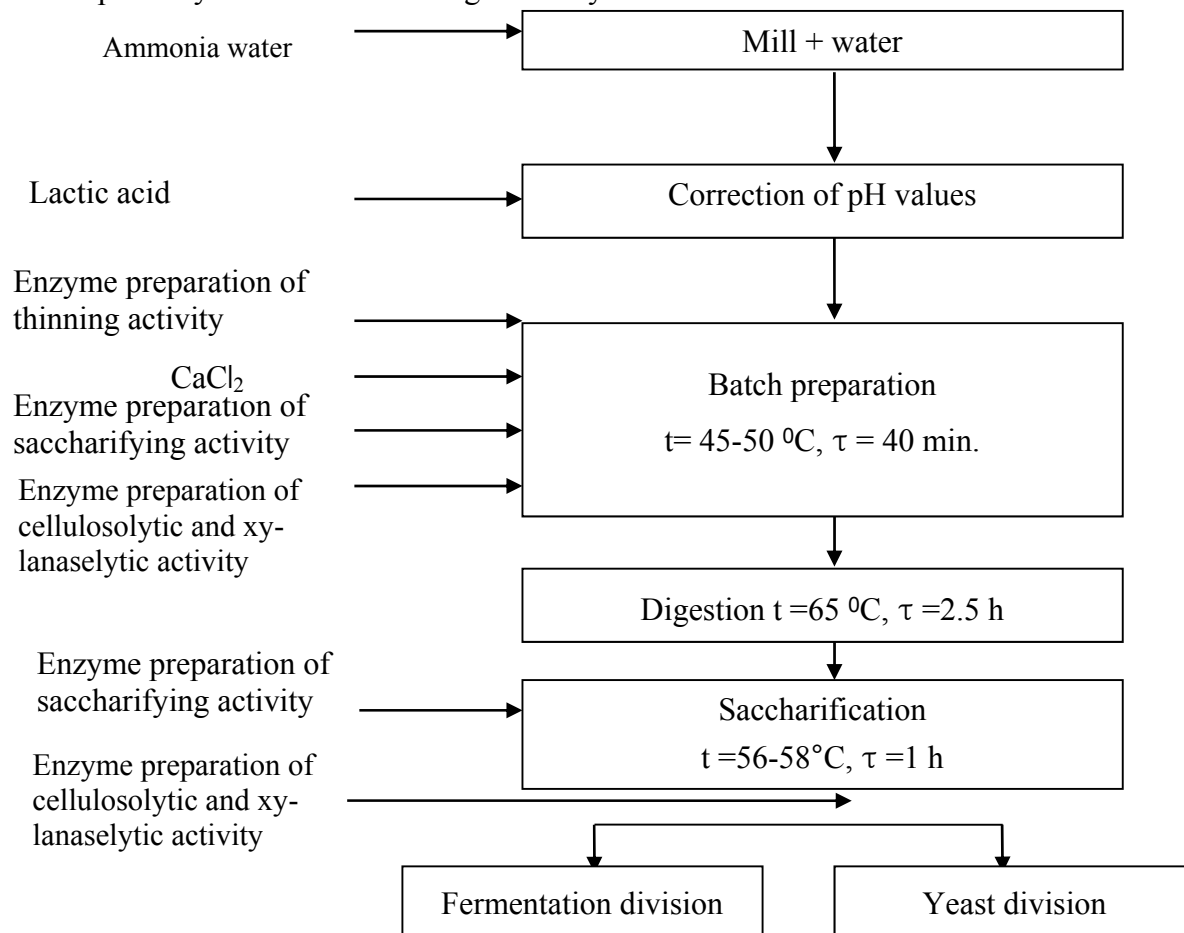
Parameter	Variants		
	Control	I	II
Alcohol content, vol. %	7,25	7,0	7,4
pH of medium, units	4,3	4,1	4,5
Acidity, grad.	0,65	0,71	0,56
Carbohydrates not fermented, g/100cm <sup>3</sup> :			
- total	0,62	0,86	0,48
- water soluble	0,51	0,63	0,45
- starch not dissolved	0,1	0,21	0,03

According to the data of Table 3, during the use of enzyme preparation Termamyl SC DS in the amount of 1 unit per 1 g of starch almost twofold increase of undissolved starch content is recorded for the variant I comparing to the control. As for the variant II, preliminary use of ammonia water at the stage of batch preparation makes it possible to reduce the content of undissolved starch down to 0,03 % without increase in the consumption of thinning enzyme preparation Termamyl SC DS by 15 %. The maximal hydrolysis of starch and increase in the content of reducing sugars in digested and saccharified rye wort let increase the alcohol content in mature mash.

Thus comparing to the control with 7,25 vol.% alcohol content, the alcohol content of the variant I (without additional neutralization of ARD) increased by 3,5 vol.% to reach 7,0 vol.%, when for the variant II (with additional neutralization of ARD) alcohol content increased by 2 vol. % to reach 7,4 vol. %.

According to results of the research principal technological scheme of wort preparation for fermentation with the use of ammonia water aiming in ARD neutralization was developed (fig.1).

**Conclusions and proposals.** The alkylresorcinols contained in rye effect enzyme preparations of alpha-amylitic action in the negative way.



*Fig. 1. Principal technological scheme of rye wort preparation for fermentation with the use of ammonia water*

It is determined that the best deactivating substance for batches preparation is ammonia water, its use making stabilization of enzyme preparations activity possible during the preparation of enzyme preparations for fermentation without any simultaneous increase of normative consumption rates of enzyme preparations.

ADR neutralization promotes retention of enzyme preparations activity within the entire fermentation period of the media.

The use of ammonia water and lactic acid at the stage of batches preparation positively influences the fermentation activity of yeast owing to the media enrichment with a source of nitrogen and increases alcohol content in mature mash.

#### Список використаних джерел

1. Конарев В. Г. Образцы ржи с характеристикой содержания 5-алкил-резорцинолов в зерне / В. Г. Конарев. – Л. : ВИР, 1977. – Вып. 197. – С. 50.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Блажний А. Фенольные соединения растительного происхождения / А. Блажний, Л. Шутый. – М. : Мир, 1977. – 239 с.
3. Сысеев В. А. Использование озимой ржи в кормлении животных / В. А. Сысеев, Л. И. Кедрова // Сельскохозяйственные вести. – 2006. – № 2. – С. 28.
4. Аллабердин И. Зерно озимой ржи в комбикормах для молодняка КРС / И. Аллабердин // Животноводство России. – 2006. – № 11. – С. 52–53.
5. Физер Л. Органическая химия / Л. Физер, М. Физер ; под. ред. Н. С. Вульфсона. – М. : Химия, 1970. – С. 278–319.
6. ГСТУ 46.045-2003. Галузевий стандарт України. «Зерно. Методи визначення умовної крохмалистості». – Вид. офіц. – К., 2004. – 20 с.
7. СОУ 15.9-37-242:2005 Стандарт Міністерства аграрної політики України «Сировина крохмалевмісна зброджена для виробництва етилового спирту. Методи визначення об'ємної частки етилового спирту». – Вид. офіц. – К., 2005. – 14 с.
8. Технологічний регламент виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини. ТРУ 18.8049-2000. – 33 с.

## References

1. Konarev, V.G. (1977). Obraztsy rzhi s kharakteristikoj soderzhaniya 5-alkil-rezortsinolov v zerne [Specimens of rye with characteristic of 5-alkylresorcinols in rye]. *VIR*, issue 197, p. 50 (in Russian).
2. Blazhej, A., Shuty, L. (1977). *Fenolnye soyedineniya rastitelnogo proiskhozhdeniya* [Phenol compounds of plant origin]. Moscow: Mir (in Russian).
3. Sysuev, V.A., Kedrova, L.I. (2006). Ispolzovanie rzhi v kormlenii zhivotnykh [Use of rye for animal feeding]. *Selskokhozyajstvennye vesti – Agricultural news*, no. 2, p. 28 (in Russian).
4. Allaberdin, I. (2006). Zerno ozimoi rzhi v kombikormakh dlia molodniaka KRS [Grain of autumn rye in feed staffs for young stock cattle]. *Zhyvotnovodstvo Rossii – Livestock breeding of Russia*, no. 11, pp. 52–53 (in Russian).
5. Fizer, L., Fizer, M. (1970). *Organicheskaya khimiya* [Organic chemistry]. Moscow: Khimiya (in Russian).
6. GSTU 46.045-2003 (2003). *Galuzevyi standart Ukrainy «Zerno. Metody vyznachennia umovnoyi krokhmalystosti»* [Branch standard of Ukraine. Methods to determine apparent starch content]. Official edition. Kyiv: Minagropolityky Ukrainy – Ministry of agrarian policy of Ukraine (in Ukrainian).
7. SOU 15.9-37-242:2005 (2005). *Standart Minagropolityky Ukrainy «Sirovyna krokhmal'evmistna zbrodzhena dlia vyrobnytstva etylovogo spyrtu. Metody vyznachannia ob'yemnoyi chastky etylovogo spyrtu»* [Standard of Ministry of agrarian policy of Ukraine «Fermented starch containing raw materials for production of ethanol. Method to determine content of ethanol»]. Kyiv (in Ukrainian).
8. TRU 18.8049-2000 (2000). *Tekhnologicnyi reglament vyrobnytstva etylovogo spyrtu z krokhmal'evmisnoi syrovyny* [Technological regulation for production of ethanol from starch containing raw materials] (in Ukrainian).

УДК 663.53.531

Наталія Процан, Сергій Олійничук, Сергій Вербицький

**ВПЛИВ ПОХІДНИХ АЛКІЛРЕЗОРЦИНОЛІВ  
НА АКТИВНІСТЬ ФЕРМЕНТНИХ ПРЕПАРАТІВ**

**Постановка проблеми.** Відомо, що жито є проблемною сировиною для виготовлення етилового спирту через наявність у зернівці цього злаку алкілрезорцинолів, що негативно впливають на ферменти амілазного комплексу. Отже, важливо знайти та науково обґрунтувати ефективні дезактивувальні речовини, які під час приготування замісів стабілізують ферментну активність без збільшення витрат ферментних препаратів понад встановлені норми.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Зовнішня оболонка кутікули зернівки жита містить алкілрезорциноли – сполуки резорцина та алкілів з різною довжиною ланцюга та різною кількістю атомів карбону. Наявність алкілрезорцинолів з атомами карбону є характерною тільки для жита. При подрібненні зерна більша частина алкілрезорцинолів залишається у висівках. Під дією високих температур алкілрезорциноли розкладаються частково, тобто у спиртовому виробництві алкілрезорциноли залишаються у нативному вигляді та негативно впливають на активність ферментних препаратів.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Об'єктами досліджень були: жито, фракції, отримані під час подрібнення; заміси та сусло з помелу жита, отримані в умовах розварювання за низьких температур з використанням ферментних препаратів альфа- та глюкоамілазної дії та допоміжних ферментних препа-

ратів; зріла бражка. Для виконання досліджень було приготовано середовища з жита та води, житні висівки було додано як джерело алкілрезорцинолів; ферментативний гідроліз крохмалю було проведено із застосуванням ферментного препарату «Новозаймс».

**Мета досліджень.** Метою досліджень було визначення впливу похідних алкілрезорцинолів на оцукрюючу здатність суслу та підбір речовин для нейтралізації алкілрезорцинолів.

**Виклад основного матеріалу.** На ефективну каталітичну активність ферментного препарату під час зброджування суслу впливає низка чинників, показник оцукрюючої здатності суслу і є показником активності ферментних препаратів. Для підтвердження наведеного твердження було проведено дослідження з дезактивації похідних алкілрезорцинолів різними речовинами. Під час досліджень як дезактивуючі речовини було застосовано харчову соду, аміачну воду та розчин гідроксиду натрію.

**Висновки та пропозиції.** Алкілрезорциноли, що містяться у житі, негативно впливають на альфа-амілітичну активність. Нейтралізація похідних алкілрезорцинолів зумовила збереження активності ферментного препарату протягом всього періоду зброджування середовища. Використання аміачної води та молочної кислоти на стадії приготування замісів позитивно впливає на бродильну активність дріжджів за рахунок збагачення середовища джерелом азоту та підвищує вміст спирту у дозрілій бражці.

**Ключові слова:** бражка; висівки, жито, зброджування, крохмаль, оцукрююча здатність, похідні алкілрезорцинолів, спирт, сусло, ферментні препарати.

Рис.: 1. Табл.: 3. Бібл.: 8.

УДК 663.53.531

Наталія Процан, Сергей Олийничук, Сергей Вербицкий

## ВЛИЯНИЕ ПРОИЗВОДНЫХ АЛКИЛРЕЗОРЦИНОЛОВ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТНЫХ ПРЕПАРАТОВ

Определено негативное влияние производных алкилрезорцинолов ржи на активность ферментных препаратов  $\alpha$ -амилолитической действия. Подобрано вещество – аммиачную воду – для дезактивации производных алкилрезорцинолов. Разработана принципиально технологическая схема приготовления суслу для сбраживания с использованием аммиачной воды с целью нейтрализации производных алкилрезорцинолов и стабилизации активности ферментных препаратов, во время приготовления сред для сбраживания, при нормативных затратах ферментных препаратов.

**Ключевые слова:** бражка; отруби; рожь; сбраживание; крахмал; осахаривающая способность, производные алкилрезорцинолов, спирт, сусло, ферментные препараты.

Рис.: 1. Табл.: 3. Библ.: 8.

**Protsan Natalia** – PhD student, State Scientific Institution «Ukrainian Research Institute of Alcohol and Biotechnology of Foods» (3 Babushkina Lane, 03190 Kyiv, Ukraine).

**Процан Наталія Вікторівна** – аспірант, ДНУ «Український науково-дослідний інститут спирту і біотехнології продовольчих продуктів» (пров. Бабушкіна, 3, м. Київ, 03190, Україна).

**Процан Наталия Викторовна** – аспірант, ГНУ «Украинский научно-исследовательский институт спирта и биотехнологии продовольственных продуктов» (пер. Бабушкина, 3, г. Киев, 03190, Украина).

**Oliynichuk Sergiy** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Food Resources of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (4a Yevgena Sverstiuka Str., 02002 Kyiv, Ukraine).

**Олійничук Сергій Тимофійович** – доктор технічних наук, професор, Інститут продовольчих ресурсів НААН (вул. Євгена Сверстюка, 4а, м. Київ, 02002, Україна).

**Олийничук Сергей Тимофеевич** – доктор технических наук, профессор, Институт продовольственных ресурсов НААН (ул. Евгения Сверстюка, 4а, г. Киев, 02002, Украина).

**Verbytskyi Sergiy** – PhD in Technical Sciences, Institute of Food Resources of National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine (4a Yevgena Sverstiuka Str., 02002 Kyiv, Ukraine).

**Вербицкий Сергей Борисович** – кандидат технічних наук, Інститут продовольчих ресурсів НААН (вул. Євгена Сверстюка, 4а, м. Київ, 02002, Україна).

**Вербицкий Сергей Борисович** – кандидат технических наук, Институт продовольственных ресурсов НААН (ул. Евгения Сверстюка, 4а, г. Киев, 02002, Украина).

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

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 674.047

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-241-246

Павло Ігнатенко, Олена Ігнатенко

### ВПЛИВ СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ НА ЇЇ МІЦНІСТЬ

**Актуальність теми дослідження.** Міцність деревини залежить в основному від її породи, температури та вологості. При сушінні вологість та температура деревини змінюються, тому її міцність також не залишається постійною.

**Постановка проблеми.** Зміна міцності деревини спостерігається лише в діапазоні вологості нижче зони гігроскопічності, причому зниження вологості приводить до суттєвого збільшення міцності. Зміна вологості в діапазоні вище зони гігроскопічності не впливає на міцність деревини.

**Аналіз досліджень і публікацій.** В Україні розробкою технологічних процесів сушіння і захисту деревини займаються компанія Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan. Технологічним процесам сушіння матеріалів присвячені роботи П. Л. Ігнатенка, С. П. Сапон, О. А. Ігнатенко.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Розрізняють міцність деревини у процесі обробки при тому чи іншому стані та експлуатаційну міцність, яку має деревина після доведення її вологості та температури до експлуатаційних норм.

**Мета статті.** Проаналізувати показники якості сушіння пиломатеріалів і запропонувати спосіб закінчення технологічного процесу сушіння.

**Виклад основного матеріалу.** Міцність деревини у процесі обробки підвищується з пониженням температури та вологості. На експлуатаційну міцність деревини здійснюють вплив її порода, вологість та характер попереднього сушіння. Ступінь зниження міцності деревини залежить від породи, вологості, температури та тривалості сушіння. Міцність камери залежить від розмірів матеріалу, а тривалість обороту – від режиму процесу і характеристики матеріалу.

Облік і планування роботи сушильних камер прийнято вести в кубічних метрах умовного матеріалу. Тривалість сушіння умовного і фактичного матеріалу знаходять розрахунком за таблицями. Облік висушених пиломатеріалів ведуть паралельно в обсязі фактичного й обсязі умовного матеріалу.

**Висновки і пропозиції.** Після дослідження існуючої установки сушіння пиломатеріалів, та визначення незручностей пов'язаних з процесом, зокрема точність вимірювання температури, визначення вологості було змінено способи та засоби збору технологічних параметрів.

Цей процес потребує певного проміжку часу і має досить велику похибку, обумовлену багатьма чинниками, такими як похибка термометрів, похибка паралаксу. Також використання даного методу дає можливість отримання значення вологості лише в певній частині сушильної камери. Використання електронних датчиків вологості дозволяє усунути певні похибки, тим самим робить процес вимірювання вологості швидшим та значно точнішим, відповідає потреба у використанні психометричних таблиць.

**Ключові слова:** показники якості; пиломатеріали; технологічний процес; кондиціонування; камерне сушіння.

Рис.: 1. Табл.: 2. Бібл.: 6.

**Постановка проблеми.** Міцність деревини залежить в основному від її породи, температури та вологості. У процесі сушіння вологість та температура деревини змінюються, тому її міцність також не залишається постійною. Зміна міцності деревини спостерігається лише в діапазоні вологості нижче зони гігроскопічності, причому зниження вологості приводить до суттєвого збільшення міцності. Зміна вологості в діапазоні вище зони гігроскопічності не впливає на міцність деревини.

Зміни міцності, пов'язані з вологістю, зворотні, тобто при зволоженні сухої деревини знижується її міцність, а при наступному висушуванні попередні міцнісні показники повністю відновлюються.

Підвищення температури призводить до пониження міцності деревини. Короткочасний вплив не досить високої температури дає зворотні зміни міцності. З підвищенням температури та тривалості її впливу в деревині відбуваються незворотні процеси, що призводять до зміни її міцнісних показників при наступній експлуатації [1].

**Аналіз досліджень і публікацій.** В Україні розробкою технологічних процесів сушіння і захисту деревини займаються професор П. В. Білей, В. М. Павлюст (Національний лісотехнічний університет України) [2]. Дослідженню процесів сушіння деревини присвячені роботи А. І. Расева [3] і І. В. Кречетова [4]. Крім того, дослідження автоматизації сушіння пиломатеріалів проводять компанія Holtek Semiconductor Incorporated,

Taiwan [5] та інші. Технологічним процесам сушіння матеріалів присвячені роботи П. Л. Ігнатенка, С. П. Сапон, О. А. Ігнатенко [6].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Розрізняють міцність деревини у процесі обробки при тому чи іншому стані та експлуатаційну міцність, яку має деревина після доведення її вологості та температури до експлуатаційних норм.

**Мета статті.** Проаналізувати показники якості сушіння пиломатеріалів і запропонувати спосіб закінчення технологічного процесу сушіння.

**Виклад основного матеріалу.** Міцність деревини у процесі обробки підвищується з пониженням температури та вологості. Це добре ілюструє діаграма (рисунок) межі міцності деревини берези при розтягненні поперек волокон (тангенціальний напрям). Так, межа міцності холодної сухої деревини вище межі міцності гарячої сирової деревини в 15...20 разів. Для інших показників механічних властивостей деревини та інших порід характер зміни міцності та їх співвідношення можуть коливатися у широких межах.

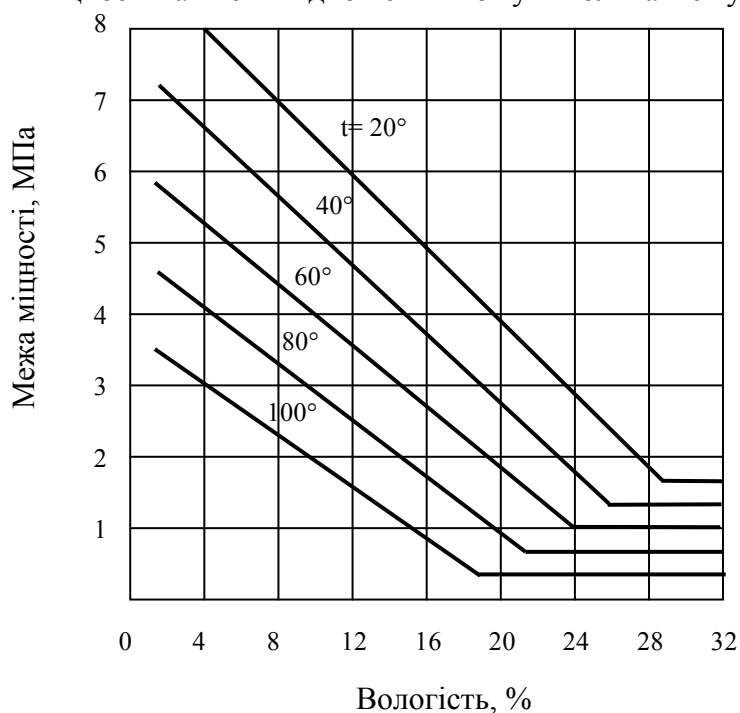


Рис. Діаграма межі міцності деревини берези при розтягненні поперек волокон у тангенціальному напрямі

На експлуатаційну міцність деревини здійснюють вплив її порода, вологість та характер попереднього сушіння. Еталоном експлуатаційної міцності прийнято вважати міцність деревини, яка не підлягала впливу температури нижче 60 °С і не знижує її експлуатаційну міцність незалежно від тривалості сушіння. Вплив більш високої температури починає з'являтися, якщо тривалість сушіння при  $t = 80$  °С перевищує 40...50 год, а при  $t = 120$  °С – 2...3 год.

Ступінь зниження міцності деревини залежить від породи, вологості, температури та тривалості сушіння. Так, наприклад, у високоінтенсивних процесах сушіння, коли температура становить 120...130 °С при тривалому впливі 30...60 год, показники механічних властивостей деревини понижуються: при розтягненні, стисненні та статичному згині на 5...8 %, а при сколюванні та розколюванні – на 15...20 % [4].

Особливості розрахунку продуктивності з урахуванням роботи сушильних камер мають такі аспекти. Продуктивність сушильної камери  $П$ , в якій висушуються пилома-

теріали конкретної характеристики та визначеного призначення, визначається в кубічних метрах деревини за рік виразом

$$\Pi = \frac{335}{\tau_{об}} \cdot E, \quad (1)$$

де 335 – число діб роботи камери в році;  $\tau_{об}$  – тривалість одного обороту камери при сушінні фактичного матеріалу, діб; у камерах неперервної дії вона дорівнює тривалості сушіння, а в камерах періодичної дії – тривалості сушіння, збільшеної на час завантаження і розвантаження камери, що становить 0,1 доби;  $E$  – місткість сушильної камери, м<sup>3</sup> деревини.

Вести облік роботи сушильних камер, безпосередньо використовуючи вираз (1), досить складно. Конкретне підприємство висушує пиломатеріали різноманітної специфікації. Тому величини  $E$  і  $\tau_{об}$  нестабільні [1].

Місткість камери залежить від розмірів матеріалу, а тривалість обороту від режиму процесу і характеристики матеріалу.

Облік і планування роботи сушильних камер прийнято вести в кубічних метрах умовного матеріалу. Умовному матеріалу еквівалентні соснові обрізні дошки товщиною 50 мм, шириною 160 мм, довжиною більше 1 м, II категорії якості, що висушуються від початкової вологості 60 % до кінцевої 12 %.

Кількість фактично просушених пиломатеріалів  $\Phi$  переводиться у кількість умовного матеріалу  $Y$  за співвідношенням

$$Y = \Phi \cdot \frac{E_{ум} \tau_{\phi}}{E_{\phi} \tau_{ум}}. \quad (2)$$

Отже, для перекладу фактичного обсягу деревини в обсяг умовного матеріалу необхідно встановити місткість камери на умовному ( $E_{ум}$ ) і фактичному ( $E_{\phi}$ ) матеріалі, а також тривалість сушіння умовного ( $\tau_{ум}$ ) і фактичного ( $\tau_{\phi}$ ) матеріалу.

Місткість камери  $E$  (м<sup>3</sup> деревини) визначають за рівнянням

$$E = \Gamma \beta, \quad (3)$$

де  $\Gamma$  – обсяг штабелів, одночасно розміщених в камері;

$\beta$  – коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля.

У свою чергу

$$\Gamma = lbhn, \quad (4)$$

де  $lbh$  – довжина, ширина і висота;

$n$  – кількість штабелів у камері.

При визначенні величини  $\beta$  варто мати на увазі, що розрізняють два показники місткості камери: за обсягом сирих пиломатеріалів і за обсягом товарних пиломатеріалів. Другий показник менше першого на величину об'ємної усушки деревини, при зміні її вологості від межі насичення до транспортної вологості. Облік роботи камер ведуть за товарними пиломатеріалами.

З урахуванням цієї обставини коефіцієнт об'ємного заповнення штабеля розраховують за формулою

$$\beta = \beta_0 \beta_{ш} \beta_v \cdot 0,93, \quad (5)$$

де  $\beta_0, \beta_{ш}, \beta_v$  – коефіцієнти заповнення штабеля по довжині, ширині і висоті;

0,93 – коефіцієнт, що враховує об'ємну усушку деревини.

Коефіцієнт заповнення штабеля по довжині  $\beta_0$  приймається рівним: для неторованих пиломатеріалів, а також пиломатеріалів і заготовок, несорттованих по довжині – 0,85; для матеріалу однакової довжини (наприклад, заготовок) – 1.

Коефіцієнт заповнення штабеля по ширині визначають за табл. 1.

Коефіцієнт заповнення штабеля по висоті при товщині прокладок 25 мм розраховують за відношенням

$$\beta_g = S / (S + 25), \quad (6)$$

де  $S$  – товщина пиломатеріалів, мм.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта  $\beta_{ш}$ 

Метод укладання	Пиломатеріали	
	обрізні	необрізні
Зі шпаціями	0,65	0,43
Без шпацій	0,9	0,6

Тривалість сушіння умовного і фактичного матеріалу знаходять розрахунком за таблицями. Облік висушених пиломатеріалів ведуть паралельно в обсязі фактичного й обсязі умовного матеріалу. В обліковому журналі сушильного цеху реєструють фактичний обсяг і характеристики кожного вивантаженого із сушильної камери штабеля. Цей обсяг перераховують в обсяг умовного матеріалу [4; 6].

Кількість висушеної в певний момент деревини (у тому числі в обсязі умовного матеріалу) підсумовують з обсягом деревини, висушеної від початку звітної періоду (місяця, кварталу). Кількісна оцінка роботи сушильного цеху за місяць, квартал чи рік (табл. 2) виконується порівнянням фактичного випуску з плановою продуктивністю камер в умовному матеріалі.

Таблиця 2

Питома продуктивність сушильних камер в умовному матеріалі

Принцип дії камер	Типи камер по циркуляції і транспортуванню штабелів	Величина $n_{ум}$ , м <sup>3</sup> /рік, при роботі на режимах			
		м'яких	нормальних	форсованих	високотемпературних
Періодичної дії	З природною циркуляцією	—	15	—	—
	З циркуляцією слабкої інтенсивності	—	24	—	—
	З циркуляцією середньої інтенсивності	19	31	39	—
	З реверсивною циркуляцією великої інтенсивності	20	36	47	79
	З нереверсивною циркуляцією великої інтенсивності	—	—	47	69
Неперервної дії протитічні	З поперечним транспортуванням штабеля	18	40	47	—
	З зигзагоподібною циркуляцією	17	38	44	—
	З прямолінійною циркуляцією та поздовжнім транспортуванням	—	23	—	—

Планову продуктивність камери  $\Pi_{ум}$  у м<sup>3</sup> умовного матеріалу в рік розраховують за формулою

$$\Pi_{ум} = \Gamma \beta_{ум} \cdot 335 / \tau_{об \cdot ум} = \Gamma n_{ум}, \quad (7)$$

де  $n_{ум}$  – питома продуктивність камери в рік в умовному матеріалі, на 1 м<sup>3</sup> обсягу штабелів. Значення  $n_{ум}$  для камер основних типів наведені в табл. 2.



**Висновки і пропозиції.** Після дослідження існуючої установки сушіння пиломатеріалів та визначення незручностей, пов'язаних з процесом, зокрема точність вимірювання температури, визначення вологості було змінено способи та засоби збору технологічних параметрів.

Нині температура в камері вимірюється ртутними термометрами, які в силу своєї моральної застарілості незручні у використанні. Вологість вимірюється психометричним способом, оператор знімає значення з вологого та сухого термометрів і за психометричними таблицями визначає вологість у камері. Цей процес потребує певного проміжку часу і має досить велику похибку, обумовлену багатьма чинниками, такими як похибка термометрів, похибка паралаксу. Також використання цього методу дає можливість отримання значення вологості лише в певній частині сушильної камери. Використання електронних датчиків вологості дозволяє усунути певні похибки, тим самим робить процес вимірювання вологості швидшим та значно точнішим, відпадає потреба у використанні психометричних таблиць. Також відбулися зміни у вимірюванні температури, після автоматизації значення температури знімаються цифровими датчиками, значення яких обробляється мікроконтролером, що дає високу швидкість та точність обробки інформації.

Для більшої швидкості та точності регулювання температури в камері запропоновано встановити електрокалорифер, роботу якого контролює КМС.

#### Список використаних джерел

1. Ігнатенко П. Л. Особливості процесу сушіння деревини / П. Л. Ігнатенко, В. І. Ступа // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. – № 4 (53). – С. 257–261.
2. Білей П. В. Сушіння і захист деревини : підручник / П. В. Білей, П. М. Павлюст. – Львів : Ліга-Прес, 2008. – 312 с.
3. Расев А. И. Тепловая обработка и сушка древесины / А. И. Расев. – М. : ГОУ ВПО МГУЛ, 2009. – 360 с.
4. Кречетов И. В. Сушка и защита древесины / И. В. Кречетов. – М. : Лесн. пром-сть, 1987. – 372 с.
5. Технічна документація HT1621 компанії Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan. 2001. – 118с.
6. Ігнатенко П. Л. Аналіз якості сушіння пиломатеріалів на заключному етапі технологічного процесу сушіння / П. Л. Ігнатенко, О. А. Ігнатенко, С. П. Сапон // Технічні науки та технології. – 2016. – № 3 (5). – С. 204–209.

#### References

1. Ihnatenko, P.L. & Stupa, V.I. (2011). Osoblyvosti protsesu sushinnia derevyny [The specifics of wood drying process]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky* – *Visnyk of Chernihiv State Technological University: Series: Technical Sciences*, no. 4, pp. 257–261 (in Ukrainian).
2. Bilei, P.V. & Pavliust, P.M. (2008). *Sushinnia i zakhyst derevyny* [The drying and protection of the wood]. Lviv: Liha. Pres (in Ukrainian).
3. Rasiev, A.I. (2009). *Teplovaia obrabotka y sushka drevesyny* [The heat treatment and drying of wood]. Moscow: HOU VPO MHUL (in Russian).
4. Krechetov, I.V. (1987). *Sushka y zashchyta drevesyny* [The drying and protection of the wood]. Moscow: Lesn. Prom-st (in Russian).
5. *Tekhnichna dokumentatsiia* HT1621 kompanii Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan. 2001.
6. Ihnatenko, P.L., Ihnatenko, E.A. & Sapon, S.P. (2016). Analiz yakosti sushinnia pylomaterialiv na zakliuchnomu etapi tekhnolohichnoho protsesu sushinnia [Analysis Of Quality Of Drying Of Sawtimbers On The Final Stage Of Technological Process Of Drying]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, no. 3 (5), pp. 204–209 (in Ukrainian).

УДК 674.047

Pavlo Ignatenko, Elena Ignatenko

## THE EFFECT OF WOOD DRYING ON ITS STRENGTH

**Urgency of the research.** The strength of wood depends mainly on its breed, temperature and humidity. When drying, the moisture and temperature of the wood change, so its strength also does not remain constant.

**Target setting.** Changing the strength of wood is observed only in the range of humidity below the zone of water absorption, whereby humidity reduction leads to a significant increase in strength. Changing the humidity range above water absorption zone does not affect the strength of wood.

**Actual scientific researches and issues analysis** In Ukraine, the development process of drying and wood protection company engaged Holtek Semiconductor Incorporated, Taiwan. Technological processes of drying materials are devoted to the work of P.L. Ignatenko, S.P. Sapon, O.A. Ignatenko.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There is strength in wood processing in different states and operational strength, which has wood after bringing here humidity and temperature to performance standards.

**The research objective.** Analysis of quality lumber drying and offer a way to completion of the process of drying.

**The statement of basic materials.** The strength of wood in the processing increases with a decrease in temperature and humidity. On the operational strength of wood influencing her breed, humidity and the nature of prior drying. The degree of reduction of wood strength depends on the breed, humidity, temperature and drying time. Capacity of the camera depends on the size of the material, and the duration of the turnover from the mode of the process and characteristics of the material.

The accounting and planning of the operation of drying chambers is carried out in cubic meters of conditional material. The tables calculate the duration of drying of conditional and actual material. The accounting of dried lumber is conducted in parallel for material.

**Conclusions.** After researching existing installation of drying lumber and definition discomfort associated with the process, in particular, the accuracy of measuring the temperature and determining the humidity has changed the methods and means of collecting technological parameters.

This process requires a certain period, and has a rather large error due to many factors, such as the error of the thermometers, the error of parallax. In addition, use this method makes it possible to obtain humidity values only in a certain part of the drying chamber. The use of electronic humidity sensors allows you to eliminate a number of errors, thus making the process of measuring humidity faster and more precisely, eliminating the need for using psychometric tables.

**Key words:** indexes of quality; saw-timbers; technological process; conditioning; chamber drying.

Fig.: 1. Tabl.: 2. Bibl.: 6.

УДК 674.047

Павел Игнатенко, Елена Игнатенко

## ВЛИЯНИЕ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ НА ЕЕ ПРОЧНОСТЬ

Проведен анализ показателей качества сушки пиломатериалов. Определен показатель равномерности конечной влажности. Установлены четыре категории качества сушки пиломатериалов. Для обеспечения необходимого качества пиломатериалов предложен новый способ окончания технологического процесса сушки.

**Ключевые слова:** показатели качества; пиломатериалы; технологический процесс; кондиционирование; камерная сушка.

Рис.: 1. Табл.: 2. Библ.: 6.

**Игнатенко Павло Леонідович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Игнатенко Павел Леонидович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Ignatenko Pavlo** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** ignatenkop11@i.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0967-1631>

**Researcher ID:** G-6310-2014

**Игнатенко Елена Анатоліївна** – асистент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Игнатенко Елена Анатольевна** – ассистент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Ignatenko Elena** – assistant of Mechanical Engineering and Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14027 Chernihiv, Ukraine).

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

*Олександр Квартенко, Ігор Присяжнюк*

## МОДЕЛЮВАННЯ КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ СПОЛУК ЗАЛІЗА В БІОРЕАКТОРІ

**Актуальність теми дослідження.** Проведений аналіз сучасних технологій очищення підземних вод показав, що одним із перспективних методів є метод біохімічного знезалізнення за допомогою залізобактерій.

**Постановка проблеми.** У зв'язку із застосуванням технології біохімічного знезалізнення підземних вод на станціях, які будуються, а також його впровадженням при реконструкції діючих станцій, постало питання щодо подальшого розвитку моделювання кінетики процесу видалення сполук заліза в біореакторах.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існуючі математичні моделі видалення сполук заліза в основному описують фізико-хімічні процеси знезалізнення підземних вод за методом спрощеної аерації – фільтрування. Вирішенню цієї проблеми присвячені роботи закордонних та вітчизняних учених.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Моделювання кінетики процесу біохімічного вилучення сполук заліза в біореакторі за допомогою залізобактерій.

**Виклад основного матеріалу.** Внаслідок всебічного вивчення процесу біохімічного окиснення сполук заліза за допомогою залізобактерій була запропонована кінетична модель, компонентами якої були концентрації заліза, додаткового неорганічного вуглецю у вихідній воді, а також концентрації утворених біомінералів. Крім того, враховувалися середні величини біомаси мікроорганізмів як в одиниці об'єму вихідної води, так й іммобілізованої в контактному завантаженому біореакторі. На відміну від існуючих кінетичних моделей було враховано вплив залізобактерій, які знаходяться у вихідній воді, на динаміку їх розвитку в контактному завантаженому біореакторі.

**Висновки.** Запропонована біохімічна модель описує кінетичні процеси очищення води від сполук заліза залежно від зміни чисельності залізобактерій, які проходять через біореактор, а також тих, які закріплені на поверхні контактної завантаження та створених ними структурах. Комп'ютерна реалізація моделі дозволить прогнозувати зміну ефективності очищення залежно від концентрації іонів  $Fe^{2+}$ , вмісту залізобактерій, присутності додаткового джерела вуглецю, швидкості фільтрування, а також враховувати зміну показників якості вихідної води.

**Ключові слова:** залізобактерії; кінетика; конвективний перенос; сполуки заліза; структури біомінералів.

Бібл.: 17.

**Постановка проблеми.** Проведений аналіз сучасних технологій очищення підземних вод [1; 2] показав, що одним із перспективних методів є метод біохімічного очищення води від сполук заліза. Моделюванню кінетики процесу біохімічного вилучення сполук заліза за допомогою залізобактерій приділялося менше уваги, ніж традиційним методам.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Існуючі математичні моделі видалення сполук заліза за ступенем врахування різноманітних факторів і процесів можна поділити на декілька груп. До першої групи віднесемо моделі, які описують лише кінетику процесу окиснення  $Fe^{2+}$ . Цей тип моделей представлено в роботах Stumm та Lee, 1961 [3], Olson та Twardowski, 1975; Tamuro, 1976 [4] та інших. Аналізуючи моделі першої групи можна зробити висновок, що вони в основному є двокомпонентними. Так, у моделі, представленій у 1961 році Stumm та Lee [3], було зазначено, що швидкість окиснення іонів  $Fe^{2+}$  в бікарбонатних розчинах передусім залежить від концентрації іонів  $Fe^{2+}$ , а також від величини рН.

Дослідження (Tamura, 1976) [4] показали, що за наявності  $Fe(III)$ , окиснення  $Fe(II)$  відбувається паралельно за двома напрямками. Перший – гомогенні реакції окиснення  $Fe^{2+}$  у водному розчині киснем повітря. Другий – гетерогенне окиснення  $Fe^{2+}$  на поверхні осаду  $Fe(OH)_3$ . Ефективність процесу, за даними (Tamura 1976), стає помітною при концентраціях  $Fe^{3+}$ , які перевищують 5...10 мг/дм<sup>3</sup>. В області близькій до нейтральних значень рН більшість заліза (III) знаходиться у формі осаду гідроксиду з позитивним зарядом. Отже,  $OH^-$  залучається у дифузійний шар, тому рН дифузійного шару пластівців осаду заліза (III) вища, ніж у решті об'єму водного розчину. Barry та ін. (1994) [5] представили інший загальний вираз кінетики окиснення  $Fe^{2+}$  із урахуванням гомогенного окиснення, абіотичного гетерогенного каталізу, біологічного процесу окиснення та інших механізмів:

$$\frac{-d[Fe(II)]}{dt} = \left\{ k_0 [Fe^{2+}] + k_1 [Fe(OH)^+] + k_2 [Fe(OH)_2] \right\} pO_2 + k_3 A \cdot [Fe^{2+}] [OH^-]^2 \cdot pO_2 + (1) \\ + k_4 [Bacteria] [Fe^{2+}] [OH^-]^2 \cdot pO_2 + R_{other},$$

де  $k_0, k_1, k_2$  – константи швидкості реакцій першого порядку в гомогенному середовищі, з поправкою на присутність ліганд і каталізаторів, які діють у процесі гомогенного окиснення ( $\text{с}^{-1}\text{атм}^{-1}$ );  $k_3$  – загальна константа швидкості гетерогенних абіотичних процесів ( $\text{с}^{-1}\text{атм}^{-1}$ );  $A$  – площа, на якій відбувається абіотичне окиснення,  $\text{м}^2$ ;  $k_4$  – константа швидкості реакції для деяких бактерій;  $[Bacteria]$  – концентрація бактерій (кл/л);  $R_{other}$  – швидкість окиснення, пов'язана з процесами, які не є явними.

До другого типу слід віднести відому модель знезалізнення [6], яка згідно з аналітичним розв'язком, представленим у [8], може описувати роботу споруд лише на початковому етапі фільтроциклу.

До найбільш складного типу відносяться багатокомпонентні моделі, які описують різні процеси фізико-хімічного знезалізнення підземних вод. Найбільш сучасними з них є моделі, розроблені під керівництвом професора О. Я. Олійника, зокрема представлені в роботах [7; 8]. Модель, представлена в роботі [7], описує динаміку процесу знезалізнення води на швидких фільтрах при сталих значеннях швидкостей фільтрування. Модель враховує вплив процесів масопереносу, кінетики обміну та різноманітних трансформацій, які відбуваються як у рідкій, так і у твердій фазах системи відносно  $Fe^{2+}$ , кисню, різних форм  $Fe(OH)_3$ .

У роботі [8] представлена модель, яка складається із двох взаємопов'язаних блоків: гідродинамічного та динаміки сполук заліза у фільтруючому пористому середовищі. Модель враховує зміну гідралічних властивостей завантаження фільтрів, нестационарність процесу знезалізнення, різні моделі кінетики масообміну, процеси гомогенно-гетерогенного окиснення заліза киснем.

У роботі [9] авторами представлена сучасна кінетична модель фізико-хімічного знезалізнення підземних вод на фільтрах, яка враховує масопередачу для двох форм заліза, відображає інтенсифікацію його видалення під впливом утвореного осаду, передбачає безвідривне фільтрування, враховує обмеженість сорбційного ресурсу.

Представлені в огляді моделі вітчизняних вчених є частиною їх сучасних розробок в даному напрямку.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Проведений аналіз сучасного стану кінетичних моделей свідчить про їх різноманітність в основному за абіотичним методом процесу окиснення сполук заліза. Тоді як біохімічному методу приділялося менше уваги. Врахування в моделі біохімічних характеристик процесу дозволить прогнозувати зміну ефективності очищення за цим методом залежно від концентрації іонів  $Fe^{2+}$ , вмісту залізобактерій, присутності додаткового джерела вуглецю, встановлювати час роботи біореактора між промивками.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є розробка моделі процесу кінетики біохімічного видалення сполук заліза в біореакторі.

**Виклад основного матеріалу.** Як відомо, наявні в підземних водах залізобактерії, в результаті своєї життєдіяльності, створюють пористі чохла у вигляді нанотрубок однакового діаметра *Leptothrix* [10], або спіралеподібні структури – *Gallionella* [12; 14]. Поступово з окремих чохла залізобактерій у міжпоровому просторі контактного завантаження починає формуватися пориста структура із біомінералів  $\gamma\text{-FeOOH}$  [11; 12], яка із часом заповнює весь міжпоровий простір і через яку конвективно проходить потік. Спіралеподібні чохла *Gallionella* та оболонки бактерій *Leptothrix* згідно з [12; 13] можна розглядати як своєрідні полімерні матриксні структури біомінералів. Із потоку води на існуючій структурі біомінералів відбувається іммобілізація залізобактерій, які з ча-

сом починають формувати нові матриксні структури. Крім того, кожна нова порція води, яка омиває чохли із закріпленими бактеріями, приносить розчинені сполуки заліза, вуглецю, кисню створюючи комфортні умови для розвитку залізобактерій. Збільшення об'єму матриксних структур біомінералів у міжпоровому просторі призводить до її поступової міграції із низхідним потоком води до нижніх шарів. Запропонована кінетична модель стосується виключно етапу створення та розвитку структур із біомінералів у міжпоровому просторі біореактора. До складу моделі входять шість взаємопов'язаних диференціальних рівнянь. Модель враховує такі компоненти: концентрації іонів заліза, неорганічного вуглецю, матриксних структур – біомінералів, утворених у двох фазах, а також середні величини біомаси залізобактерій як в одиниці об'єму вихідної води, так і іммобілізованої в контактному завантаженні біореактора.

$$\sigma B_t = W(x, t)B - v(x) \cdot B_x - \gamma(x, t)H(x, t) - \chi B, \quad (2)$$

$$U_t = W(x, t)U + \gamma(x, t) \cdot H(x, t) - \chi U, \quad (3)$$

$$\sigma C_t = -v(x) \cdot C_x - \alpha_1 W(x, t)B - \alpha_2 W(x, t)U, \quad (4)$$

$$\sigma F_t = -v(x) \cdot F_x - \beta_1 W(x, t)B - \beta_2 W(x, t)U - R_{chem} - R_{other}, \quad (5)$$

$$\sigma S_t = -v(x) \cdot S_x - k_1 S + k_2 M + \eta_1 W(x, t)B, \quad (6)$$

$$M_t = k_1 S - k_2 M + \eta_2 W(x, t)U, \quad (7)$$

$$H(x, t) = \begin{cases} B(x, t), & \text{якщо } B(x, t) < B_*^* - U(x, t), \\ B_*^* - U(x, t), & \text{якщо } B(x, t) \geq B_*^* - U(x, t), \end{cases} \quad (8)$$

Рівняння (2–5) описують відповідно процес біохімічно-абіотичного окиснення сполук заліза за допомогою консорціумів залізобактерій, закріплених як на поверхні стаціонарної каталітичної оболонки зерен, так і на матриксних структурах біомінералів в міжпоровому просторі контактного завантаження, а також тих, які вільно переміщуються в міжпоровому просторі разом із потоком води, яка підлягає очищенню. Рівняння (6, 7) описують процеси накопичення–переносу утворених у процесі роботи біореактора матриксних структур по висоті контактного завантаження біореактора. На відміну від існуючих кінетичних моделей, у запропонованій моделі було враховано вплив чисельності залізобактерій, які знаходяться у вихідній воді, на динаміку їх розвитку в контактному завантаженні біореактора.

**Опис диференціальних рівнянь моделі.** Рівняння (2) дозволяє враховувати процес біохімічного окиснення сполук заліза за рахунок незакріплених мікроорганізмів, які надходять із підземного джерела водопостачання [14], залежно від концентрацій іонів гідрокарбонату заліза та розчиненого неорганічного вуглецю, швидкості потоку. По мірі руху води вздовж контактного завантаження відбувається процес іммобілізації бактерій як на поверхні його гранул, покритих первинною стаціонарною оболонкою, так і на утворених бактеріями структурах біомінералів у міжпоровому просторі. Рівняння (3) описує динаміку приросту залізобактерій, закріплених на структурах біомінералів, із урахуванням швидкості їх іммобілізації ( $\gamma(x, t) = k \cdot f(M)$ ) із водного середовища. Коефіцієнт швидкості іммобілізації бактерій, відповідно до досліджень [15], залежить від іонної сили розчину та від концентрації створених біомінералів. Відмирання бактерій описано в рівняннях (2, 3), але враховуючи тривалість розвитку фази експотенціального розвитку культури *Gallionella* [16] та тривалості робочого циклу біореактора між промивками у розрахунках не враховується. Рівняння (4) описує конвективне перенесення по висоті завантаження додаткового джерела неорганічного вуглецю із наступною асиміляцією бактеріями роду *Gallionella*. Конвективне перенесення іонів  $Fe^{2+}$ , по глибині контактного завантаження, із одночасним окисненням закріпленими та незакріпленими консорціумами залізобактерій

описується рівнянням (5). Рівняння (6) описує утворення структур біомінералів не закріпленими залізобактеріями в процесі їх життєдіяльності із урахуванням накопичення в міжпоровому просторі, конвективного перенесення у нижні шари контактного завантаження із подальшим прилипанням до існуючих матриксних агломерів. Процес утворення структур біомінералів закріпленими залізобактеріями з урахуванням збільшення їх концентрації у часі, перенесенням відірваних структур із наступним захопленням їх із потоку та переведенням до статичного стану із поступовим заповненням об'єму міжпорового простору описується рівнянням (7).

#### Опис складових компонентів диференціальних рівнянь.

Перша складова рівняння (2)  $W$  – швидкість росту мікроорганізмів згідно з рівнянням Моно:

$$W(x, t) = \frac{\mu_{\max} F \cdot C}{(F + K_F)(C + K_C)}, \quad (9)$$

де  $\mu_{\max}$  – максимальна питома швидкість росту мікроорганізмів, год<sup>-1</sup>;  $F$  – концентрація двовалентного заліза у вихідній воді, мг/дм<sup>3</sup>;  $C$  – концентрація додаткового джерела неорганічного вуглецю, мг/дм<sup>3</sup>;  $K_F$ ,  $K_C$  – константи насичення.

Інші складові рівнянь:  $B$  – середня величина біомаси залізобактерій в одиниці об'єму вихідної води, яка проходить через біореактор мг/дм<sup>3</sup>;  $v$  – швидкість потоку в біореакторі, м/год;  $\gamma$  – функція швидкості іммобілізації залізобактерій на структурі біомінералів та первинну стаціонарну оболонку контактного завантаження; функція  $H(x, t)$  встановлює зв'язок між концентраціями  $B(x, t)$  та  $U(x, t)$  (зокрема залежність між кількостями вилучених із рідини та іммобілізованих на структурах біомінералів бактерій);  $\chi$  – кількість відмерлих бактерій, кл/мл;  $U$  – середня величина біомаси залізобактерій, іммобілізованих на поверхні первинної стаціонарної оболонки контактного завантаження та структур біомінералів міжпорового простору, мг/дм<sup>3</sup>;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – коефіцієнти масової частки неорганічного вуглецю, необхідного для побудови 1 г клітинної біомаси;  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  – коефіцієнти масової частки іонів  $Fe^{2+}$ , необхідних для побудови 1 г клітинної біомаси;  $R_{chem}$  – складова, яка характеризує абіотичне окиснення,  $R_{other}$  – компонент, який враховує окиснення сполук заліза продуктами метаболізму хемогетеротрофних залізобактерій роду *Leptothrix*;  $v(x)S_x$  – компонент, який описує динаміку конвективного перенесення утворених у потоці структур біомінералів по глибині контактного завантаження;  $(-k_1S)$  – компонент, який описує адгезію матриксів, які утворилися в динаміці потоку, на попередньо створений стаціонарний матрикс у міжпоровому просторі;  $k_2M$  – компонент, який описує динаміку переходу стаціонарних структур біомінералів у рухомому потоці;  $\eta_1 W(x, t)B$  – компонент, який описує утворення в міжпоровому просторі біомінералів за допомогою бактерій;  $\eta_1$ ,  $\eta_2$  – масова частка  $Fe^{3+}$  у вигляді біомінералів ( $\gamma FeOOH$ ), яка утворюється при побудові 1 г біомаси;  $(-k_2M)$  – компонент, який описує динаміку відриву частини стаціонарного матриксу з наступним його перенесенням у потік;  $\eta_2 W(x, t)U$  – компонент, який описує утворення нових структур біомінералів за допомогою бактерій, закріплених на стаціонарних матриксах у міжпоровому просторі контактного завантаження;  $B^*$  – гранична кількість залізобактерій у матриксних структурах біореактора.

**Умови використання кінетичної моделі.** Згідно з даними, наведеними [1; 11; 14; 15; 16] біологічне окиснення заліза можливо у слабкокислих та біля нейтральних водах із величинами редокс-потенціалу від -100 до 100 мВ при рН 7,5 та від 100 до 400 мВ при рН 5,5 [1], у присутності залізобактерій, при незначних концентраціях розчиненого кисню. Слід відзначити, що ефективність використання методу залежить від величин бікарбонатної лужності, рН, розчиненого кисню, чисельності залізобактерій, що вносить відповідні межі

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

при його застосуванні. Крім того, для розвитку залізобактерій роду *Gallionella* необхідні розчинений диоксид вуглецю, а для роду *Leptothrix* – розчинені органічні сполуки.

Зауважимо, що для слабокислих вод із низькими значеннями бікарбонатної лужності ( $< 2,0$  ммоль/дм<sup>3</sup>) у присутності гумінових комплексів використання традиційних безреагентних методів є ускладненим [17].

Розроблена модель може бути модифікованою залежно від зміни зовнішніх параметрів якості природних вод.

I. При обробці слабокислих ( $\text{pH} = 5,5\text{--}6,5$ ), залізомістких ( $\text{Fe}^{2+} > 0,5$  мг/дм<sup>3</sup>) підземних вод із нормальним лужним резервом ( $\text{Л} = 2\text{--}4$  ммоль/дм<sup>3</sup>), концентрацією диоксиду вуглецю ( $\text{CO}_2 > 20$  мг/дм<sup>3</sup>) та незначним вмістом розчинених органічних речовин за перманганатною окисністю  $< 5,0$  мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> можливе застосування варіанту без додаткового джерела вуглецю.

II. При обробці слабокислих підземних вод із низьким лужним резервом ( $\text{Л} < 2,0$  ммоль/дм<sup>3</sup>) з аналогічними за варіантом (I) показниками якості води рекомендується застосовувати варіант моделі із додатковим джерелом вуглецю у вигляді розчину Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>.

III. При обробці слабокислих підземних вод із величиною перманганатної окисності більше 5,0 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> в біореакторі буде одночасно спостерігатись наявність консорціумів залізобактерій *Gallionella* та *Leptothrix*. Останні, як відомо, використовують розчинені органічні сполуки для побудови клітинної біомаси, виділяючи при цьому пероксид водню. В цьому випадку можливе додаткове застосування компонента R<sub>other</sub>.

IV. При обробці нейтральних вод, залежно від величин Eh [1], поряд із біологічними процесами буде відбуватись і хімічне окиснення. При чому, у відповідних межах pH – Eh [1] воно поступово буде превалювати над біологічним. У цьому випадку необхідно враховувати також процес хімічного автокаталітичного окиснення.

V. При обробці підземних вод із  $\text{pH} > 7,5$  в умовах відсутності розчиненої органіки приймається, що процес хімічного окиснення буде значно превалювати над біологічним.

У процесі роботи біореактора в міжпоровому просторі контактного завантаження відбувається поступове накопичення структур біомінералів, що призводить до його кольматації, збільшення втрат напору та підвищення рівня води. У свою чергу, підвищення рівня води призводить до збільшення величини вільного напору, який компенсує втрати напору при кольматажі міжпорового простору і стабільній величині швидкості проходження водою контактного завантаження. При досягненні максимально допустимих величин заповнення (кольматажу) міжпорового простору контактного завантаження біореактор слід виводити до режиму промивки.

**Висновки і пропозиції.** Запропонована біохімічна модель описує кінетичні процеси очищення води від сполук заліза залежно від зміни концентрацій заліза, неорганічного вуглецю, чисельності залізобактерій у вихідній воді, а також утворення структур біомінералів закріпленими залізобактеріями з урахуванням збільшення їх концентрації у часі, перенесенням відірваних структур із наступним захопленням їх із потоку та переведенням до статичного стану із поступовим заповненням об'єму міжпорового простору. Комп'ютерна реалізація моделі дозволить прогнозувати зміну ефективності очищення залежно від концентрації іонів Fe<sup>2+</sup>, вмісту залізобактерій, наявності додаткового джерела вуглецю, швидкості фільтрування, а також враховувати зміну показників якості вихідної води.

#### Список використаних джерел

1. Mouchet P. From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France / P. Mouchet // Journal of the American Water Works Association. – 1992. – Vol. 84, no. 4. – Pp. 158–167.
2. Du Toit G. Biological filtration for sustainable treatment of groundwater with high iron content – a case study / G. du Toit, H. Blignaut, B. Theunissen, J. Briggs // Water SA. – 2014.
3. Stum, W., and Lee, G. F. (1961). Oxygenation of ferrous iron, Industrial Eng. Chem. 53, 143–146.

4. Tamura, H., Goto, K., and Nagayama, M. (1976). The effect of ferric hydroxide on the oxygenation of ferrous ions in neutral solutions, *Corrosion science*, 16, 197–297.
5. Barry, R. C., Schnoor, J. L., Sulzberger, B., Sigg, L., and Stumm, W. (1994). Iron oxidation kinetics in an acidic alpine lake. *Wat. Res.* Vol. 28, No. 2, pp. 323–333.
6. Станкявичус В. И. Обезжелезивание воды фильтрованием / В. И. Станкявичус. – Вильнюс : Москалас, 1978. – 117 с.
7. Олейник А. Я. Математическое моделирование процесса удаления железа из природных вод фильтрованием. / А. Я. Олейник, Г. И. Семенко // Химия и технология воды. – 1997. – Т. 19, № 5. – С. 451–457.
8. Киселев С. К. Моделирование и расчеты обезжелезивания воды на очистных фильтрах с учетом изменения гидравлических свойств загрузки : дис. канд. техн. наук : спец. 05.23.04 / Киселев Сергей Константинович ; Киевский национальный ун-т строительства и архитектуры. – К., 2000. – 161 с.
9. Поляков В. Л. До теорії фізико-хімічного знезалізнення підземних вод та її інформаційного забезпечення / В. Л. Поляков, С. Ю. Мартинов // Чиста вода. Фундаментальні, практичні та промислові аспекти : матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції (26-27 жовтня 2017). – К., 2017. – С. 178–181.
10. Krezhav K. New materials based on biogenic iron oxides: study of composition, features and behavior Biogenic ferroxides. INAA study of laboratory cultivated and natural products of iron oxidizing bacteria (FeOB). The Second International Conference on Radiation add Dosimetry in Various Fields of Reseach. May 27–30. Faculty of Biology, Sofia University.
11. Sogaard, G.E. Conditions and rates of biotic and abiotic iron precipitation in selected Danish freshwater plants and microscopic analysis of precipitate morphology / G.E. Sogaard, R. Medenwaldt, J.V. Abraham-Peskir // *Water Research*. – 2000. – No. 34 (10). – Pp. 2675–2682.
12. Suzuki, T., Hashimoto, H., Itadani, A., Matsumoto, N., Kunox, H., Takada, J. Silicon and Phosphorus Linkage with Iron via Oxygen in the Amorphous Matrix of *Gallionella ferruginea* Stalks. *Applied and Enviromental Microbiology*. – 2012. – Vol. 78, (1). – Pp. 236–241.
13. Graham L.L., Harris R., Villinger W., Beveridge T.J. (1991). Freeze-substitution of Gram-negative eubacteria: general cell morphology and envelop profiles. *J. Bacteriol* 173: 1623–1633.
14. Askerniia A. A. Microbiological aspects of natural underground water deironing and demanganation / A. A. Askerniia, A. Iu. Sorokina, G. A. Dubinina // *Vodosnabzhenie i Sanitarnaia Tekhnika*. – 2014. – No. 12. – Pp. 14–21.
15. *Biological Processes at Saints Hill Water-Treatment Plant, Kent* / F. Bourguine, M. Gennery, J.I. Chapman, H. Kerai, J.G. Green, R.J. Rap, S. Ellis, C. Gaumard // *J. IWEM*. – 1994. – 8 August. – Pp. 379–392.
16. Hallbeck L. Culture parameters regulating stalk formation and growth rate of *Gallionella ferruginea* / Hallbeck L., Pedersen K. // *Journal of General Microbiology*. – 1990. – № 136. – Pp. 1675–1680.
17. Николадзе Г. И. Обезжелезивание природных и оборотных вод / Г. И. Николадзе. – М. : Стройиздат, 1978. – 160 с.

### References

1. Mouchet, P. (1992). From Conventional to Biological Removal of Iron and Manganese in France. *Journal of the American Water Works Association*, vol. 84, no 4, pp. 158–167.
2. Du Toit, G., Blignaut, H., Theunissen, B., Briggs, J. (2014). Biological filtration for sustainable treatment of groundwater with high iron content – a case study. *Water SA*. Retrieved from <http://www.ozwater.org/sites/all/files/ozwater/079%20%20GDuToit.pdf>.
3. Stumm, W., Lee, G.F. (1961). Oxygenation of ferrous iron. *Industrial & Eng. Chem*, no. 53, pp. 143–146. Retrieved from <https://doi.org/10.1021/ie50614a030>.
4. Tamura, H., Goto, K., Nagayama, M. (1976). The effect of ferric hydroxide on the oxygenation of ferrous ions in neutral solutions. *Corrosion science*, no. 16, p.197–297.
5. Barry, R.C., Schnoor, J.L., Sulzberger, B., Sigg, L., Stumm, W. (1994). Iron oxidation kinetics in an acidic alpine lake. *Wat. Res.* vol. 28, no. 2, pp. 323–333.
6. Stankiavichus, V.I. (1978). *Obezzhelezivanie vody filtrovaniem [De-ironing of water by filtration]*. Vilnius: Moskalas (in Russian).



7. Oleynik, A.Ya., Semenko, G.I. (1997). Matematicheskoe modelirovanie protsessa udaleniia zheleza iz prirodnykh vod filtrovaniem [Mathematical modelling of process of ferrum removal from natural waters by filtration]. *Khimiia i tekhnologiia vody – Chemistry and technology of water*, vol. 19, no. 5, pp. 451–457 (in Russian).
8. Kiselev, S.K. (2000). Modelirovanie i raschety obez-zhelezivaniia vody na ochistnykh filtrakh s uchetom izmeneniia gidravlicheskikh svoistv zagruzki [Modelling and calculations of water deferrization at treatment filters considering changing hydraulic properties of loading]. *Candidate's thesis*. Kiev: Kiev National University of Building and Architecture (in Russian).
9. Polyakov, V.L., Martynov, S.Yu. (2017). Do teorii fizyko-khimichnoho znezaliznennia pidzemnykh vod ta yii informatsiinoho zabezpechennia [On theory of physico-chemical deferrization of underground waters and its information support]. Proceeding from *Chysta voda. Fundamentalni, praktychni ta promyslovi aspekty: Materialy V Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii – Pure water. Fundamental, applied and industrial aspects: Proceedings of the V International Scientific and Technical Conference* (Kyiv, October 26–27, 2017). Kyiv: National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», pp. 178–181 (in Ukrainian).
10. Krezhov, K. (2014). New materials based on biogenic iron oxides: study of composition, features and behavior Biogenic ferroxides. INAA study of laboratory cultivated and natural products of iron oxidizing bacteria (FeOB). *The Second International Conference on Radiation add Dosimetry in Various Fields of Reseach, 27th – 30th May, 2014*. Nis: Faculty of Electronic Engineering, University of Nis, Serbia.
11. Søgaard, G.E., Medenwaldt, R., Abraham-Peskir, J.V. (2000). Conditions and rates of biotic and abiotic iron precipitation in selected Danish freshwater plants and microscopic analysis of precipitate morphology. *Water Research*, no. 34(10), pp. 2675–2682.
12. Suzuki, T., Hashimoto, H., Itadani, A., Matsumoto, N., Kunox, H., Takada, J. (2012). Silicon and Phosphorus Linkage with Iron via Oxygen in the Amorphous Matrix of *Gallionella ferruginea* Stalks. *Applied and Enviromental Microbiology*, vol. 78, no. 1, pp. 236–241.
13. Graham, L.L., Harris, R., Villinger, W., Beveridge, T. J. (1991). Freeze-substitution of Gram-negative eubacteria: general cell morphology and envelop profiles. *Journal of Bacteriology*, vol. 173, no. 5, pp. 1623–1633.
14. Askerniia, A. A., Sorokina, A. Iu., Dubinina, G. A. (2014). Mikrobiologicheskie aspekty protsessov obez-zhelezivaniia i demanganatsii prirodnykh podzemnykh vod [Microbiological aspects of natural underground water deironing and demanganation]. *Vodosnabzhenie i sanitarnaia tekhnika – Water Supply and Sanitary Technique*, no. 12, pp. 14–21 (in Russian).
15. Bourguine, F., Gennery, M., Chapman, J.I., Kerai, H., Green, J.G., Rap, R.J., Ellis, S., Gaudmard, C. (1994). Biological Processes at Saints Hill Water-Treatment Plant, Kent. *IWEM Journal*, vol. 8, issue 4, pp. 379–391.
16. Hallbeck, L., Pedersen, K. (1990). Culture parameters regulating stalk formation and growth rate of *Gallionella ferruginea*. *Journal of General Microbiology*, no. 136, pp. 1675–1680.
17. Nikoladze, G.I. (1978). *Obez-zhelezivanie prirodnykh i oborotnykh vod [Iron removal of natural and circulating waters]*. Moscow: Stroiizdat (in Russian).

UDC 628.15

Alexander Kvartenko, Ihor Prysiazhniuk

## MODELLING THE KINETICS OF FERRUM COMPOUNDS REMOVAL IN A BIOREACTOR

**Urgency of the research.** The analysis carried out of present-day technologies for treating underground waters showed that one of the promising methods was the method of biological deferrization with the help of ferrum bacteria.

**Target setting.** In connection with the application of the technology of biochemical disinfection of groundwater at the stations under construction, as well as its implementation during the reconstruction of existing stations, the question arose about the further development of the kinetics of the removal process of iron compounds in bioreactors.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Existing mathematical models of ferrum compounds removal describe in the main the physico-chemical processes of the deferrization of uderground waters by the method of simplified aeration-filtration. To the solution of this problem are devoted works by foreign and native scientists.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Modeling of the kinetics of the process of biochemical extraction of iron compounds in a bioreactor using iron bacteria.

**The statement of basic materials.** Because of the comprehensive study of the process of biochemical oxidation of iron compounds with the help of iron bacteria, a kinetic model was proposed, the components of which used concentrations of iron, additional inorganic carbon in the source water, as well as the concentration of generated biomaterials. In addition, the average values of biomass of microorganisms are taken into account in both unit volume of the source water and immobilized in the contact loading of the bioreactor. In contrast to the existing kinetic models, the effect of iron bacteria in the source water was taken into account, on the dynamics of their development in the contact loading of the bioreactor

**Conclusions.** The proposed biochemical model describes kinetic processes of water treatment from ferrum compounds depending on the changing concentrations of ferrum bacteria which pass through the bioreactor, and also those ones fixed on the surface of the contact loading and formed matrix structures. The computer implementation of the model will permit to foretell the change of treatment efficiency depending on the ions  $\text{Fe}^{2+}$  concentration, the content of ferrum bacteria, the availability of the additional source of carbon, the filtration rate and also to take into account changing indices of the quality of outlet water.

**Key words:** iron bacteria; kinetics; convective transport; iron compounds, matrix structures of biominerals

**Bibl.:** 17.

УДК 628.15

Александр Квартенко, Игорь Присяжнюк

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КИНЕТИКИ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В БИОРЕАКТОРЕ

По результатам проведенного анализа технологий очистки подземных вод была установлена перспективность применения биохимического метода. Существующие модели в основном описывают процессы абиотического удаления соединений железа. На основе современных концепций в работе рассмотрено моделирование процесса кинетики удаления соединений железа в биореакторе с закрепленными консорциумами железобактерий. При моделировании были учтены ряд значимых факторов: концентрации ионов  $\text{Fe}^{2+}$ , неорганического углерода, образованных железобактериями матричных структур в двух фазах, а также средние величины биомассы микроорганизмов, как в единице объема исходной воды, так и закрепленной в загрузке биореактора. Кроме того рассмотрена возможность модификации модели в зависимости от параметров качества исходной воды.

**Ключевые слова:** железобактерии; кинетика; конвективный перенос; соединения железа; структуры биоминералов.

**Библ.:** 17.

**Квартенко Олександр Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент/докторант, Національний університет водного господарства та природокористування (вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028, Україна).

**Квартенко Александр Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент/докторант, Национальный университет водного хозяйства и природопользования (ул. Соборная, 11, г. Ровно, 33028, Украина).

**Kvartenko Alexander** – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor/doctoral, National University of Water and Environmental Engineering (11 Soborna Str., 33028 Rivne, Ukraine).

**E-mail:** as-755@rambler.ru

**Присяжнюк Ігор Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри вищої математики, Рівненський державний гуманітарний університет (вул. Степана Бандери, 12, м. Рівне, Україна).

**Присяжнюк Игорь Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры высшей математики, Ровенский государственный университет (ул. Степана Бандеры, 12, м. Ровно, Украина).

**Prysiashniuk Ihor** – PhD in Technical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Higher Mathematics, Rivne State Humanitarian University (12 Stepan Bandera Str., Rivne, Ukraine).

**E-mail:** Igorpri79@gmail.com

Ігор Корнієнко, Олексій Терещук,  
Світлана Корнієнко, Артем Кошма

## КОРЕГУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПОГОДНИХ УМОВ ДЛЯ ЗИМОВОГО ПЕРІОДУ ЧИЩЕННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ З ВИКОРИСТАННЯМ ДАНИХ ВЕБ-РЕСУРСУ

**Актуальність теми дослідження.** Якісне та своєчасне прибирання вулично-дорожньої мережі міста вимагає великих фінансових та матеріальних витрат. Детальне дослідження та корегування статистичних погодних умов, характерних для міста Чернігова, дозволить зменшити витрати на придбання протиожеледних матеріалів.

**Постановка проблеми.** Детальне дослідження статистичних даних щодо погодних умов утримання вулично-дорожньої мережі за допомогою архівної інформації відкритих веб-ресурсів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Пошук способів зниження витрат на прибирання міста здійснюють багато вчених різних країн світу.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Важливим чинником підготовленості міста до прибирання вулично-дорожньої мережі у зимовий період є заготівля протиожеледних реагентів, потреба в яких визначається даними про снігопади та ожеледі. У разі відсутності статистичної інформації щодо погодних умов можна скористатись даними, що наведені в архівах погодних веб-ресурсів.

**Постановка завдання.** Корегування статистичних даних щодо дорожніх погодних умов зимового періоду в місті Чернігові.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто питання уточнення статистичних даних щодо погодних умов утримання вулично-дорожньої мережі за допомогою архівної інформації відкритих веб-ресурсів. Одержана уточнена інформація, що може слугувати основою для розрахунку витрат та закупівлі фрикційних матеріалів і реагентів на зимовий період. Показано механізм уточнення статистичних даних щодо погодних умов на прикладі міста Чернігова. Розраховані погодні статистичні дані для утримання вулично-дорожньої мережі міста Чернігова.

**Висновки.** Проведений аналіз погодних факторів у зимовий період на основі даних відкритих веб-ресурсів свідчить про необхідність корегування статистичних даних для Чернігівського регіону, які наведені у чинних нормативних документах.

**Ключові слова:** прибирання вулично-дорожньої мережі; погодні умови; зимовий період.

Табл.: 2. Рис.: 6. Бібл.: 10.

**Постановка проблеми.** Якісне та своєчасне прибирання вулиць і доріг міста відповідно до прийнятих національних стандартів, особливо в зимовий період, є складним завданням, обтяженою часовим ресурсом, екстремальними подіями, що викликані негodoю та значними фінансовими затратами. Організація зимового прибирання вулично-дорожньої мережі міста передбачає етапи підготовки, під час яких здійснюється заходи з планування, підготовки технічних засобів, навчання персоналу, заготівлі протиожеледних реагентів та фрикційних матеріалів тощо.

Основою для планування кількості протиожеледних засобів є лінійно-площадні параметри вулично-дорожньої мережі, норми витрат протиожеледних засобів на одиницю площі та середньостатистичні дані щодо погодних умов під час зимового сезону в регіоні. Достовірність цих даних є важливим чинником, адже нестача таких матеріалів під час закінчення зимового сезону, коли часто трапляються випадки негоди, унеможливить процес прибирання доріг та паралізує автомобільний рух у місті. З іншого боку, слід уникати надмірного заготування таких продуктів через чималу вартість та витрати, пов'язані з їх зберіганням.

Зважаючи на усереднені дані Українського гідрометеорологічного центру щодо кліматичних умов у зимовий період за адміністративно-територіальним поділом України прогнозування закупівлі та витрат протиожеледних матеріалів регламентуються технічними правилами [1], а основні співвідношення, що визначають обсяги заготування протиожеледних матеріалів рекомендуються у [2]. Проте при виконанні авторами досліджень з оптимізації мережі прибирання вулиць та доріг міста Чернігова виявлена певна невідповідність прогнозованих погодних умов для Чернігівського регіону та даних, наведених у [1]. Тому виникла необхідність детального дослідження та корегування статистичних погодних умов, характерних для міста Чернігова.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині існують відповідні нормативні акти та методичні рекомендації з організації утримання, і в тому числі прибирання вулично-

дорожньої мережі, що дозволяє сформувати загальний підхід до здійснення організаційних заходів, формування системи вимог та правил виконання прибирання, основних співвідношень між розмірами об'єкта прибирання та кількістю і складом прибиральної техніки, а також нормами на витратні засоби. За останній час проведені наукові дослідження, наприклад [3], з метою визначення або уточнення параметрів і характеристик вулично-дорожньої мережі, нормативних значень витрат часу або матеріалів на прибирання, порівняння якісних характеристик матеріалів для обробки дорожнього полотна. Такі норми і дослідження дозволяють сформувати вимоги для задачі оптимізації прибирання вулично-дорожньої мережі, а також можуть бути застосовані для розв'язування інших задач з утримання міста, таких як збір та утилізація твердих побутових відходів [4–7].

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Важливим чинником підготовленості міста до прибирання вулично-дорожньої мережі у зимовий період є заготівля протиожеледних реагентів, потреба в яких визначається даними про снігопади та ожеледі, що регламентуються відповідними методичними рекомендаціями або середньостатистичними показниками погодних умов, зібраних за останнє десятиріччя. Використання натурних спостережень здійснюється за умови явних відхилень даних у нормативних документах до фактичних погодних умовах. У разі відсутності статистичної інформації щодо погодних умов можна скористатися даними, що наводяться в архівах погодних веб-сервісів.

**Мета статті.** Корегування статистичних даних щодо дорожніх погодних умов зимового періоду у місті Чернігові.

**Виклад основного матеріалу досліджень.** Відповідно до [1] для прогнозування обсягів заготівлення протиожеледних матеріалів у Чернігівському регіоні пропонуються використовувати статистичні дані, що подані у табл. 1. Для порівняння наведено також дані за суміжними з Чернігівською та іншими північними областями України.

Таблиця 1

*Усереднені дані Українського гідрометеорологічного центру щодо кліматичних умов у зимовий період за адміністративно-територіальним поділом України*

Адміністративно-територіальний поділ України	Кількість випадків ожеледі, дні			Снігопади при температурі, °С									Максимальна кількість опадів у вигляді снігу за добу <sup>1</sup> , мм	Максимальна кількість днів зі снігопадом поспіль, шт.	
				від 0 до мінус 6					від мінус 6 до мінус 18						
	всього	тривалістю, год		всього	у тому числі кількість з інтенсивністю, шт.			всього	у тому числі кількість з інтенсивністю, шт.						
		до 3	понад 3		кількість, шт. / тривалість, год.	від 5 мм/год до 10 мм/год	від 10 мм/год до 30 мм/год		понад 30 мм/год	кількість, шт. / тривалість, год.	від 5 мм/год до 10 мм/год	від 10 мм/год до 30 мм/год			понад 30 мм/год
Чернігівська	7,63	1,14	6,49	1,7/7,9	1,4	0,2	0,1	0,4/2	0,3	0,05	0,05	35,2	2		
Київська	16,3	2,4	13,9	16,1/88,9	10,5	4	1,6	4/22,2	2,6	1	0,4	27,2	2		
Сумська	4,3	0,6	3,7	3,7/17,4	2,4	0,9	0,4	0,9/4,3	0,6	0,2	0,1	34	2		
Черкаська	13	2	11	5,7/36	4,8	0,6	0,3	1,4/9	1,2	0,1	0,1	28,6	2		
Полтавська	13,6	2	11,6	12,4/80,7	8,1	3,1	1,2	3,1/20,2	2	0,8	0,3	31,4	2		
Харківська	9,8	1,5	8,3	7,2/43,9	4,7	1,8	0,7	1,8/11	1,2	0,4	0,2	29,4	2		
Житомирська	14,8	2,2	12,6	15,9/110,5	10,3	4	1,6	4/27,6	2,6	1	0,4	31	2		

Викликають певні сумніви наведені у табл. 1 статистичні дані щодо кількості снігопадів для Чернігова – 1,7 та 0,4 – для різних температурних діапазонів 0...-6 °С та -6...-18 °С через заниження статистичних показників. Також, на нашу думку, підлягають ретельній перевірці статистична кількість випадків ожеледі.

Для уточнення метеорологічних дорожніх умов скористаємося веб-сервісом з доступним архівом погодних даних з інтернет-ресурсу «Розклад погоди RP5» [8]. Аналіз погодних умов виконувався за період з 1 січня 2005 року по 30 травня 2017 року.

Визначальними для варіантів зимового прибирання вулично-дорожньої мережі міста є такі події та їх характеристики: снігопад; ожеледь; ожеледиця; хуртовина.

У зв'язку з тим, що архівні дані не містять відомостей про фактичне випадіння снігу або ожеледь, то моделювання таких подій виконувалося з наступних міркувань. Вимоги щодо чищення снігу визначаються товщиною ще неушліщеного снігового шару, що випав. Відповідно до даних метеопрогнозів, облік опадів у вигляді снігу ведеться в мм розталого снігу. Коефіцієнт приведення до товщини снігового шару визначається як: 1 мм талого снігу – 1,0...1,5 см снігового покриву (залежно від структури крижинок). Для обліку статистичних показників періодів чищення від снігу було обране середнє значення товщини снігового шару 1,25 см на 1 мм талого снігу.

Відомості щодо кількості випадків зимової слизькості у відкритому доступі відсутні, тому постала необхідність моделювання ситуацій виникнення такого явища. У міських умовах температура снігу і льоду на дорогах може бути значно вищою температури повітря в зв'язку з тим, що вони отримують значну кількість тепла з ґрунту від численних підземних споруд, а в ясні дні – від сонячного випромінювання. Особливо слід зважати на цю обставину на асфальтобетонних покриттях, які добре поглинають сонячну енергію крізь тонку крижану плівку [9].

При моделюванні зимової слизькості ми враховували такі погодні фактори утворення ожеледі та ожеледиці:

- а) лід, який утворився в результаті випадання дощу і мокрого снігу:
  - поступове зниження атмосферного тиску протягом доби;
  - одночасне збільшення вологості (більше 90 %) і температури навколишнього середовища (від -5 до +3 градусів);
  - випадання дощу або мокрого снігу;
- б) лід на дорозі без дощу та мокрого снігу з'являється в результаті таких погодних факторів:
  - підвищення тиску повітря в атмосфері в період тривалих опадів;
  - ясне і безхмарне небо наступного дня після випадання снігу;
  - низька вологість повітря;
  - перепади температури протягом доби (вночі мороз, а вдень відлига);
- в) ожеледь при мінусових значеннях повітря:
  - температура від -2 до -6 C°;
  - вологість повітря коливається в межах 65–85 %;
- г) утворення «чорного льоду» («чорний лід» є результатом охолодження випарів повітря, змішаних з інеем і памороззю, які опускаються на сухе дорожнє покриття, утворюючи крижану кірку). Ця кірка дуже прозора і практично непомітна на дорозі, тому і має назву «чорний лід». Для формування «чорного льоду» необхідні такі погодні умови:
  - дуже ясне небо;
  - мороз нижче -5 C°;
  - повна відсутність поривів вітру;
  - рівень вологості в повітрі більше 95 %.

Найчастіше такий вид ожеледиці з'являється в прибережних районах у результаті ранкового руху теплої маси повітря з моря на берег, де температура повітря набагато нижча. «Чорний лід» часто утворюється на мостах через водойми, а також поблизу великих теплоелектростанцій і підприємств, які випаровують у навколишнє середовище.

Критичною температурою для появи ожеледі є  $0^{\circ}\text{C}$ , а максимальна імовірність появи ожеледі спостерігається при коливаннях температури від  $-3$  до  $+3^{\circ}\text{C}$  [10].

У суху морозну погоду при майже постійній температурі на абсолютно чистих від снігу дорогах ожеледь не утворюється, і такі дороги безпечні для нормального руху транспорту та пішоходів.

За результатами моделювання для всіх аналізованих зимових сезонів були побудовані графіки температурного режиму, опадів з накопиченням снігового шару та сприятливими умовами для виникнення зимової слизькості (фрагменти графіків наведені на рис. 1 і 2 відповідно).

Температурний режим: зимовий період 2007-2008 рр.

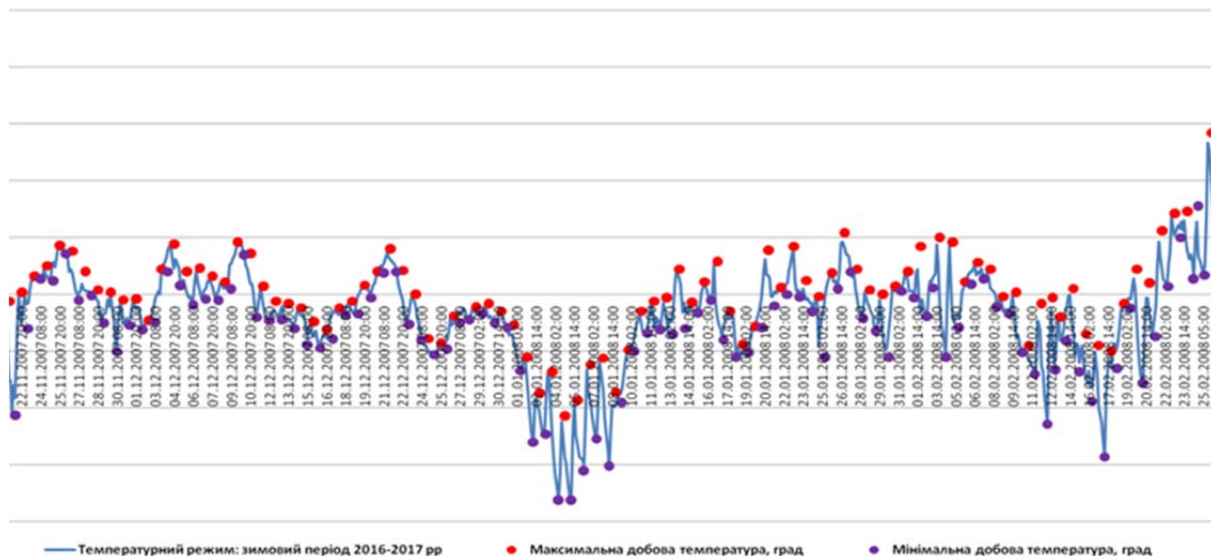


Рис. 1. Фрагмент температурного графіка зимового сезону

Опади, снігопади та дорожня слизькість: зимовий період 2007-2008 рр.

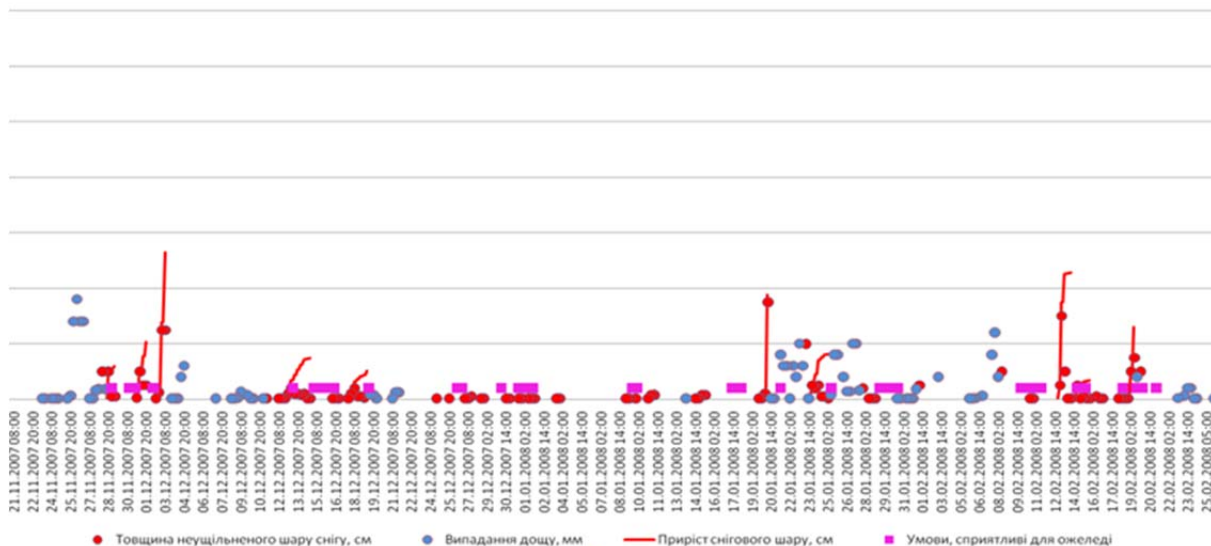


Рис. 2. Фрагмент графіку накопичення випадіння та накопичення снігу та утворення зимової слизькості

Дані, що одержані з веб-ресурсу, відбивали фактичні вимірювання з інтервалом у 3 години, що дозволило моделювати зміну погодних явищ протягом доби. Накопичення снігового шару під час снігопаду здійснювалось протягом безперервного випадіння опадів (декількох періодів вимірювань) за від'ємної температури повітря, інакше вважалось,

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

що або йде дощ, або сніг на дорогах прибирається і його накопичення не відбувається. Прибирання снігу визначено вимогами до системи утримання вулично-дорожньої мережі, де прибирання снігу, що випав, починається одразу після закінчення снігопаду та має нормативні показники на прибирання від 4 до 6 годин залежно від класу дороги.

Утворення зимової слизькості моделювалося виконанням відповідних умов, наведених вище. Час існування зимової слизькості фіксувався за збереженням умов протягом декількох періодів вимірювань. Якщо такі умови не зберігалися, вважалося, що ожеледь існує менше 3 годин.

Узагальнені та осереднені результати моделювання погодних умов, що регламентують режими прибирання вулично-дорожнього покриття в зимовий період наведені у табл. 2.

Таблиця 2

*Узагальнені та осереднені значення погодних умов  
зимових періодів 2005-2017 років*

Зимовий період	Сумарна товщина неущільненого снігового шару, що випала за сезон, см	Загальна кількість випадків випадіння снігу за сезон, см					Тривалість снігопадів, діб (з перервами, що не перевищують 4 годин)			Кількість снігопадів з різною інтенсивністю (за максимальним значенням під час снігопаду, см/год)					Сприятливі умови для виникнення зимової слизькості		
		Разом	0<...<2	>2	>5	>20	0<...<2	2<...<4	>4	<0,5	0,5-1	1-3	>3	Разом з інтенсивн. >0,5 см/год	Разом	Тривалість сприятливих умов, годин	<3
2016/17	198	25	13	12	9	5	8	4	3	14	5	5	1	11	31	20	13
2015/16	99	14	6	8	6	1	3	3	1	7	2	3	2	7	18	8	10
2014/15	64	16	6	10	4	0	6	2	0	8	3	5	0	8	29	17	13
2013/14	73	11	2	9	3	2	2	1	0	5	3	2	1	6	10	4	7
2012/13	264	24	4	20	14	4	4	1	0	11	4	11	2	17	30	25	10
2011/12	161	15	2	13	5	2	5	4	1	10	1	4	0	5	26	20	10
2010/11	158	26	9	17	7	1	4	1	1	19	3	4	0	7	23	15	13
2009/10	346	27	6	21	13	6	3	7	1	14	4	6	3	13	20	13	10
2008/09	164	17	1	16	10	2	7	2	2	10	5	2	0	7	27	17	16
2007/08	147	20	4	16	7	2	3	3	0	13	2	5	0	7	26	17	15
2006/07	142	17	3	14	10	0	6	0	0	10	4	3	0	7	17	12	9
2005/06	225	30	8	22	15	1	4	5	1	17	2	9	2	13	34	18	22
Середнє значення	170,1	20,2	5,3	14,8	8,6	2,2	4,6	2,8	0,8	11,5	3,2	4,9	0,9	9,0	24,3	15,5	12,3

Розподіл статистичних даних різних погодних факторів по роках наведений на графіках рис. 3–6.

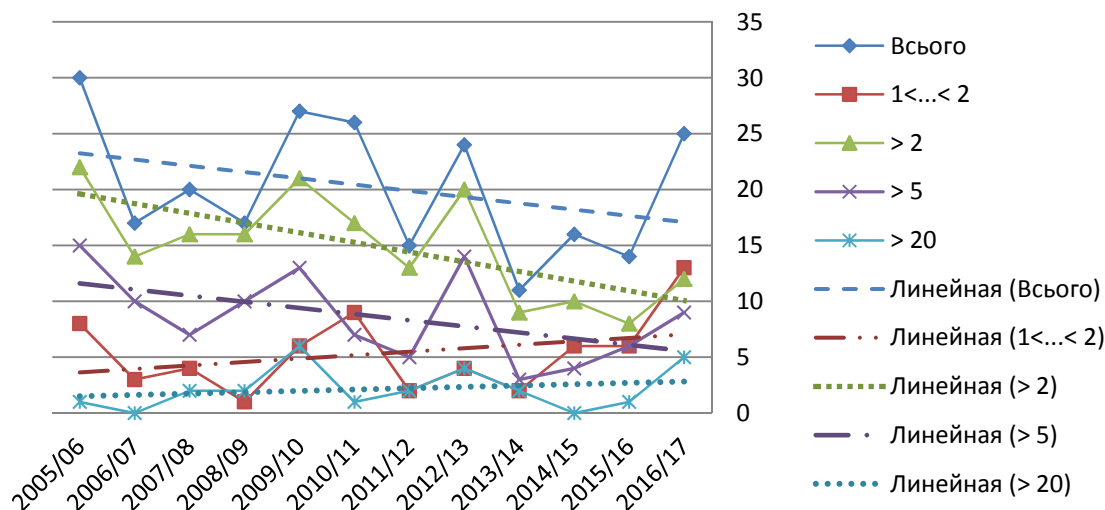


Рис. 3. Загальна кількість випадків випадіння снігу у зимові сезони за роками та категоріями товщини неуцілененого снігового шару, см

З графіків рис. 3 видно, що загальна кількість снігопадів має тенденцію до зменшення, проте існують періодичні коливання з інтервалом 2–4 роки. Через суттєвий розкид параметрів важко передбачити можливу кількість снігопадів з великою імовірністю, яка потрібна для визначення кількості матеріалів при підготовці до зимового сезону, проте можна визначити верхню оцінку, за якої імовірність перевищення кількості снігопадів є достатньо низькою. Так, з імовірністю 0,95 можна стверджувати, що загальна кількість снігопадів не перевищить 29,7 за зимовий сезон, а з імовірністю 0,9 не перевищить 27,6 снігопадів.

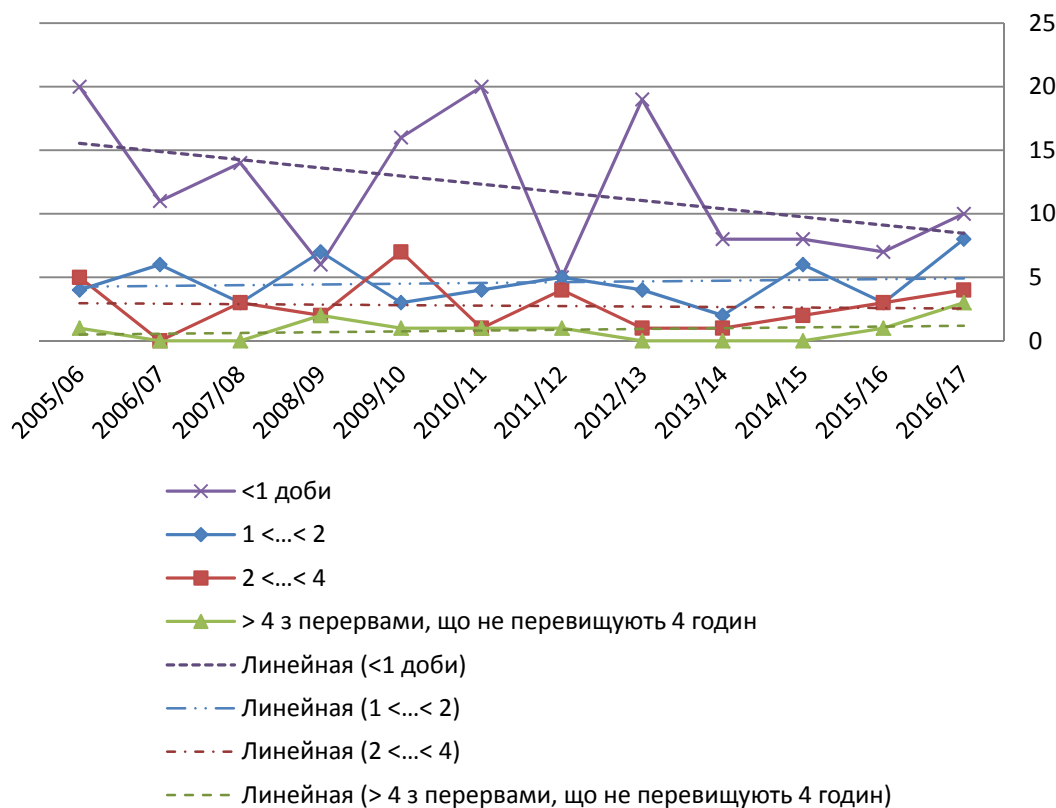


Рис. 4. Кількість снігопадів з різною тривалістю у зимові сезони за роками та категоріями тривалості (у добах)



Щодо кількості потужних снігопадів зауважимо, що лінія тренду на графіку рис. 4 свідчить про їх незмінну середньостатистичну величину протягом досліджуваного періоду. Кількість помірних снігопадів має тенденцію до зменшення, проте кількість снігопадів, з невеликим випадінням снігу (до 0,5 см) навпаки має тенденцію до зростання.

Аналіз кількості снігопадів з різною тривалістю (рис. 4) показує, що частіше відбуваються нетривалі снігопади (менше 1 доби). Найрідшими є тривалі снігопади, що йдуть більше 4 діб з перервами, що не перевищують 4 годин (інтенсивність випадання снігу під час снігопаду не враховувалась). Прогнозні тенденції на майбутнє показують, що незважаючи на розкид кількості снігопадів за категоріями тривалості тенденції на загальну кількість тривалих снігопадів (тривалістю більше 1 доби) не змінюється. Однак спостерігається деяке зниження кількості нетривалих снігопадів.

Аналіз кількості снігопадів з різною інтенсивністю дозволяє зробити висновки (рис. 5) щодо тенденції зменшення середньої кількості снігопадів малої інтенсивності ( $< 0,5$  см/год). Проте статистика снігопадів середньої та великої інтенсивності свідчить, що в середньому кількість таких снігопадів залишається незмінною. Це свідчить про те, що в перспективі кількість застосувань комбінованого механохімічного способу очистки в середньому залишається незмінною, однак кількість прогонів техніки з плужно-щітковою очисткою снігу буде зменшуватись.

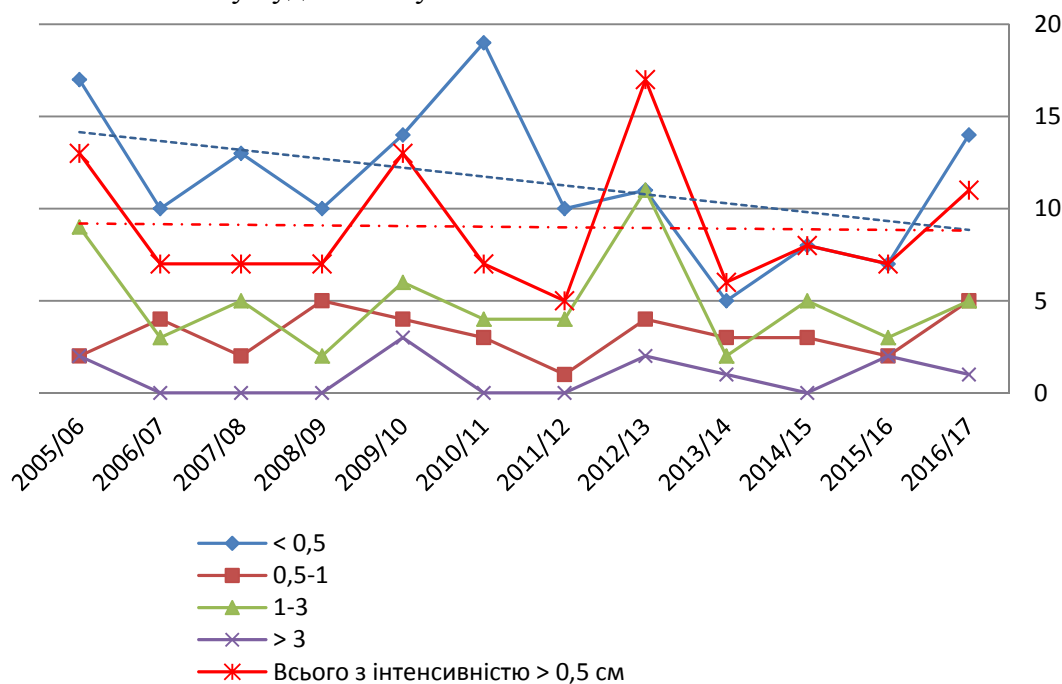


Рис. 5. Розподіл кількості снігопадів з різною інтенсивністю за роками та категоріями (см/год)

Щодо кількості днів, де формувалися сприятливі умови для виникнення ожеледі або ожеледиці (рис. 6), то спостерігається тенденція невеликого зменшення таких випадків, причому зменшення кількості випадків для нетривалої ожеледиці ( $< 3$  годин) майже не помітно, а кількість тривалої ожеледиці ( $> 3$  годин) має тенденцію до зменшення.

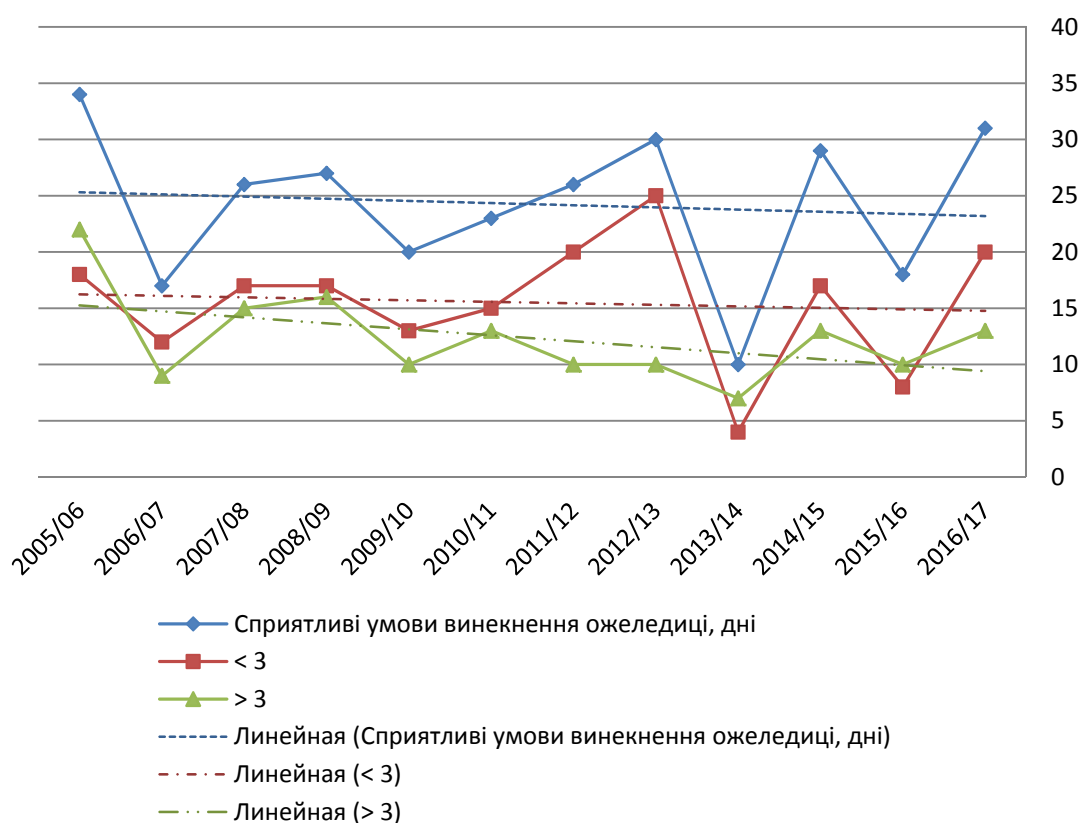


Рис. 6. Кількість днів сприятливих погодних умов для виникнення зимової слизькості

**Висновки і пропозиції.** Узагальнений висновок, який можна зробити щодо змін основних показників, які визначають режими прибирання такий, то зими стають більш м'якими (про що свідчать лінії трендів). Підвищення середньої температури призводить до частішого коливання температури близько  $0^{\circ}\text{C}$  у ранковий та вечірній час. Це сприятиме виникненню нетривалої ожеледиці, але зменшує середньостатистичну кількість тривалої зимової слизькості доріг. Таке явище, з одного боку, зменшує кількість витрат та зусиль на подолання льодового шару, що утворюється під час тривалої ожеледиці, а з іншого – робить небезпечним для руху явище раптового виникнення ожеледі.

Стосовно випадіння снігу й утворення снігового шару, то досвід прибирання доріг свідчить, що неуцілнений сніговий шар товщиною до 2-х сантиметрів при обробці його реагентами (для запобігання утворення ожеледі та накату) під час механохімічного способу прибирання та відсутності повторного випадіння снігу і температури нижчої за  $-6\ldots-10^{\circ}\text{C}$  тане під колесами автомобілів, що не викликає необхідності його чищення. З урахуванням цього, осереднена загальна кількість снігопадів у Чернігові (таблиця 2) наближена до показників Київської та Житомирської областей (таблиця 1). Дещо перевищена кількість прогнозованих випадків зимової слизькості у порівнянні з табличними даними пов'язана саме з прогнозними, а не фактичними даними, за спостереженнями кількість випадків попередження про можливу ожеледь завжди менша за кількість фактично виниклих.

Отже, проведений аналіз погодних факторів у зимовий період на основі відкритих даних Веб-ресурсів свідчить про необхідність коригування статистичних даних для Чернігівського регіону, які наведені у чинних нормативних документах.

Одержані статистичні результати дозволяють скоригувати розрахунок матеріалів та засобів для успішного вирішення задачі утримання вулично-дорожньої мережі в зимовий період.

### Список використаних джерел

1. *Технічні правила ремонту і утримання вулиць та доріг населених пунктів* [Електронний ресурс] : Наказ від 14.02.2012 № 54 / Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. – Режим доступу : [zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0365-12](http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0365-12).
2. *Методичні рекомендації з прибирання території об'єктів благоустрою населених пунктів* [Електронний ресурс] : Наказ від 07.07.08 № 213 / Міністерство з питань житлово-комунального господарства України. – Режим доступу : [blagoustruy.info/media/legislation/10082b78-62d1-4e97-b971-00ce91349f17.doc](http://blagoustruy.info/media/legislation/10082b78-62d1-4e97-b971-00ce91349f17.doc).
3. Корнієнко І. Обґрунтування методики визначення вихідних параметрів для оптимізації мережі механізованого прибирання вулиць населеного пункту / І. Корнієнко, С. Корнієнко, А. Кошма, О. Богукалець, В. Ярова // *Технічні науки та технології : науковий журнал*. – 2017. – № 3 (9). – С. 179–188.
4. Корнієнко І. В. Стан і напрями розв'язання проблеми утилізації екологічно небезпечних побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // *Чернігівський науковий часопис. Серія 2: Техніка і природа*. – 2012. – № 1 (3). – С. 122–127.
5. Корнієнко І. В. Декомпозиція задачі формування просторової структури мережі збору побутових відходів / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма // *Технічні науки та технології : науковий журнал*. – 2015. – № 1 (1). – С. 113–118.
6. Корнієнко І. В. Розробка моделі мережі роздільного збирання твердих побутових відходів / І. В. Корнієнко, С. П. Корнієнко, А. І. Кошма // *Технічні науки та технології : науковий журнал*. – 2016. – № 1 (3). – С. 122–130.
7. Корнієнко І. В. Моделювання інтенсивності надходження твердих побутових відходів до контейнерних майданчиків / І. В. Корнієнко, С. П. Корнієнко, А. І. Кошма // *Технічні науки та технології : науковий журнал*. – 2016. – № 2 (4). – С. 110–117.
8. *RP5.UA*. Розклад погоди [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://rp5.ua>.
9. Кралин А. К. Возникновение зимней скользкости дорог и свойства льда [Електронний ресурс] / А. К. Кралин, С. А. Шаймухаметов // *Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури*. – 2016. – Вип. 6. – С. 115–121. – Режим доступу : [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE\\_FILE\\_DOWNLOAD=1&Image\\_file\\_name=PDF/vdnaba\\_2016\\_6\\_21.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/vdnaba_2016_6_21.pdf).
10. Ellis, N. G. Weather and Traffic / N. G. Ellis // *The Journal of the Institution of Highway Engineers*. – 2000. – № 10. – Pp. 31–36.

### References

1. *Tekhnichni pravyla remontu i utrymannia vulyts ta dorih naselenykh punktiv* : *Nakaz vid 14.02.2012 № 54* [Technical rules for the repair and maintenance of streets and roads of settlements : *Order dated February 14, 2012 No. 54*]. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0365-12>.
2. *Metodychni rekomendatsii z prybyrannia terytorii ob'ektiv blahoustroiu naselenykh punktiv*: *Nakaz vid 07.07.08 № 213* [Methodical recommendations for cleaning the territory of the objects of improvement of settlements: *Order dated 07.07.08 № 213*]. Retrieved from <http://blagoustruy.info/media/legislation/10082b78-62d1-4e97-b971-00ce91349f17.doc>.
3. Korniienko I., Korniienko S., Koshma A., Bohukalets O., Yarova V. (2017). Obgruntuvannia metodyky vyznachennia vykhidnykh parametriv dlia optyimizatsii merezhi mekhanizovanoho prybyrannia vulyts naselenoho punktu [The substantiation of the methodology of determination of output parameters for optimization of the network of mechanized cleaning up of streets of settlements]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, № 3 (9), pp. 179–188 (in Ukrainian).
4. Korniienko, I.V., Koshma, A.I. (2012). Stan i napriamy rozv'iazannia problemy utylyzatsii ekolohichno nebezpechnykh pobutovykh vidkhodiv [Status and directions of the solution of the problem of utilization of environmentally hazardous household waste]. *Chernihivskyi naukovyi chasopys. Seriya 2: Tekhnika i pryroda – Scientific e-journal. Series 2. Technique and nature: collected scientific articles*, № 1 (3), pp. 122–127 (in Ukrainian).

5. Korniienko, I.V., Koshma, A.I. (2015). Dekompozytsiia zadachi formuvannia prostorovoi struktury merezhi zboru pobutovykh vidkhodiv [Decomposition of the problem of formation of the spatial structure of the network household waste disposal]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, № 1 (1), pp. 113–118 (in Ukrainian).

6. Korniienko, I.V., Korniienko, S.P., Koshma, A.I. (2016). Rozrobka modeli merezhi rozdilnoho zbyrannia tverdykh pobutovykh vidkhodiv [Developing a model network of separate collection of solid waste]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, № 1 (3), pp. 122–130 (in Ukrainian).

7. Korniienko, I.V., Korniienko, S.P., Koshma, A.I. (2016). Modeliuvannia intensyvnosti nadkhozhdzhennia tverdykh pobutovykh vidkhodiv do konteinernykh maidanchykyv [Simulation intensity flow of solid waste to the container sites]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, № 2 (4), pp. 110–117 (in Ukrainian)..

8. RP5.UA. Rozklad pohody [RP5.UA. Reliable prognosis]. Retrieved from <http://rp5.ua>.

9. Kralyn, A.K., Shaimukhametov, S.A. (2016) Voznyknovenye zymnei skolzkosty doroh y svoistva lda [Appearance of winter slipperiness of roads and ice properties]. *Visnyk Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnytstva i arkhitektury – Bulletin of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture*, № 6, pp. 115-121. Retrieved from [http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis\\_nbuv/cgiirbis\\_64.exe?c21com=2&i21dbn=ujrn&p21dbn=ujrn&image\\_file\\_download=1&image\\_file\\_name=pdf/vdnaba\\_2016\\_6\\_21.pdf](http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?c21com=2&i21dbn=ujrn&p21dbn=ujrn&image_file_download=1&image_file_name=pdf/vdnaba_2016_6_21.pdf).

10. Ellis, N. G. Weather and Traffic [2010]. *The Journal of the Institution of Highway Engineers*, № 1, pp. 31–36.

UDC 711.4

Ihor Korniienko, Oleksii Tereshchuk,  
Svitlana Korniienko, Artem Koshma

## CORRECTION OF STATISTICAL INDICATORS FOR WEATHER CONDITIONS FOR THE WINTER PERIOD OF CLEARING THE HIGH-ROAD NETWORK USING WEB-RESOURCES DATA

**Urgency of the research.** Quality and timely cleaning of the road network of the city requires large financial and material costs. Detailed research and statistical adjustments weather conditions characteristic of Chernihiv city will reduce the cost of purchasing antiglaze materials.

**Target setting.** Detailed study of statistical data on weather conditions of the maintenance of the street-road network with the help of archival information of open Web-resources.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Finding ways to reduce the cost of cleaning the city is carried out by many scientists from different countries of the world.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** An important factor in the city's readiness to clean the street-road network in the winter is the harvesting of anti-icing reagents, the need for which is determined by snow and ice data. In the absence of statistical information on weather conditions, you can use the data provided in the archives of weather Web services.

**The research objective.** Adjustment of the statistical data on road weather conditions of the winter period in the city of Chernihiv.

**The statement of basic materials.** The issue of refinement of statistical data on the weather conditions of the maintenance of the street-road network with the help of archival information of open Web-resources is considered. The updated information is obtained, which can serve as the basis for calculating costs and purchasing friction materials and reagents for the winter period. The mechanism of refinement of statistical weather data on the example of the city of Chernihiv is shown. The weather statistics for the maintenance of the streets and road network of the city of Chernihiv are calculated.

**Conclusions.** The conducted analysis of weather factors in the winter period based on open data of Web resources indicates the need to adjust the statistical data for the Chernihiv region, which are given in the current normative documents.

**Key words:** cleaning of the street-road network; weather conditions; winter period.

Tabl.: 2. Fig.: 6. Bibl.: 10.

*Игорь Корниенко, Алексей Терещук,  
Светлана Корниенко, Артем Кошма*

## КОРРЕКТИРОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ ДЛЯ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА ОЧИСТКИ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ВЕБ-РЕСУРСА

*Рассмотрен вопрос уточнения статистических данных относительно погодных условий содержания улично-дорожной сети с помощью архивной информации открытых веб-ресурсов. Полученная уточненная информация, которая может служить основой для расчета затрат и закупки фрикционных материалов и реагентов на зимний период. Показан механизм уточнения статистических данных погодных условий на примере города Чернигова. Расчитаны погодные статистические данные для содержания улично-дорожной сети города Чернигова.*

**Ключевые слова:** уборка улично-дорожной сети; погодные условия; зимний период.

*Табл.: 2. Рис.: 6. Библ.: 10.*

**Корнієнко Ігор Валентинович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Корниенко Игорь Валентинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Korniienko Ihor** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., 1400 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9105-0780>

**Терещук Олексій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, директор навчально-наукового інституту будівництва, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Терещук Алексей Иванович** – кандидат технических наук, доцент, директор учебно-научного института строительства, профессор кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Tereshchuk Oleksii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Director of Education and Research Institute of Construction, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National Technological University (4 Belova Str., 1400 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** olexter1957@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6433-9351>

**Корнієнко Світлана Петрівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислового та цивільного будівництва, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Корниенко Светлана Петровна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленного и гражданского строительства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Korniienko Svitlana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Associate Professor of the Department of Industrial and Civil Engineering, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., 1400 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9162-1229>

**Кошма Артем Іванович** – викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Белова, 4, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Кошма Артём Иванович** – преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Белова, 4, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Koshma Artem** – Teacher of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (4 Belova Str., 1400 Chernihiv, Ukraine).

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

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2017-4(10)-266-276

Сергій Крячок, Людмила Мамонтова, Роман Гайструк

## ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ВІДДАЛЕМІРА ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА З ВИКОРИСТАННЯМ НОВОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПРИВ'ЯЗКИ ДО СТІННИХ ЗНАКІВ

**Актуальність теми дослідження.** Важливою частиною геодезичних робіт є вимірювальні лінії. Лінійні вимірювання виконуються під час будівництва геодезичних мереж, топографічного обстеження, інженерно-геодезичні роботи, тому для забезпечення надійних результатів лінійне вимірювання є невідкладним завданням.

Але GPS-позиціювання має і свої недоліки. Застосування GPS-технологій для визначення координат пунктів у населених пунктах з багатоповерховою забудовою, у гірській місцевості серед лісу, ще є досить проблематичним. На таких територіях використовують поєднання GPS-позиціювання і полігонометричні мережі [3].

Для вимірювання відстаней та кутів у полігонометричних мережах нині застосовується електронні тахеометри.

Закріплення пунктів геодезичних мереж у населених пунктах виконується, в основному, за допомогою стінних знаків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для прив'язки до стінних знаків з використанням електронних тахеометрів застосовують різноманітні візирні цілі [4; 5]. Центри стінних знаків розташовані досить близько до площини стіни чи цоколя споруди. Недоліком таких пристроїв є значні габарити. Це зменшують сектор огляду пристроїв з боку тахеометра.

Тому було запропоновано новий пристрій для прив'язки до стінних знаків [6], конструкція якого позбавляє вказаних незручностей.

Виникла потреба у визначенні сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR в комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків.

Існують різні способи визначення сталої електронного віддалеміра [7]. Аналогом взято спосіб порівняння коротких відстаней, виміряних електронним тахеометром та мірним пристроєм – рулеткою.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Застосування електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків потребує подальшого розвитку методики визначення сталої електронного віддалеміра.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є ознайомлення з розробленою методикою визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків.

**Виклад основного матеріалу.** Новий пристрій [6] для прив'язки до стінних знаків має такі основні конструктивні елементи: корпус, у верхній частині якого знаходиться закріплений гвинт, що закінчується конусоподібним наконечником, який вгвинчується в отвір центра стінного знаку. Для приведення пристрою у робочий стан використовується круглий рівень. Відбивач світлових сигналів від електронного тахеометра виготовлено у вигляді тріпель-призми. Насадка на стінний знак має всередині порожнину, якою накриває головку стінного знаку. Закріпні гвинти утримують пристрій на стінному знаку.

Було виміряно 30 разів коротку відстань Trimble 3305 DR на відбивач нового пристрою, закріпленому на стінному знаку. Потім новий пристрій був знятий з стінного знаку. В трегер замість тахеометра було встановлено спеціальний пристрій для відлічування відстані до 0,1 мм. Вимірювалась та ж відстань за допомогою рулетки Inter Tool 10 разів відносно центра стінного знаку. Розраховувались середні значення виміряних відстаней та приводились до горизонту. У відстань вводились поправки за температуру та компарування.

Результати вимірювань підлягали виявленню постійної похибки за критерієм Аббе, відповідності нормальному розподілу за критерієм Колмогорова та з використанням асиметрії та ексцесу. У підсумку обчислено значення сталої та середню квадратичну похибку її визначення.

**Висновки.** Виконані експериментальні дослідження та опрацювання результатів з визначення сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR в комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків. Проведена статистична перевірка рядів вимірювань, яка показала відсутність систематичних похибок у рядах вимірювань та відповідність нормальному розподілу результатів. Величина сталої дорівнює  $(+23,4 \pm 0,8)$  мм.

**Ключові слова:** вимірювання відстаней; рулетка; електронний тахеометр; стала електронних віддалемірів.

Рис.: 6. Табл.: 3. Бібл.: 10.

**Постановка проблеми.** У практиці геодезичних вимірювань все більше використовуються супутникові технології [1; 2]. Вони мають такі переваги у порівнянні з традиційними методами геодезії: незалежність від погодних умов, відсутність прив'язки до геодезичних пунктів (автономність), отримання координат точок у реальному часі.

Але GPS-вимірювання мають і свої недоліки. Застосування GPS-технологій для визначення координат пунктів, достатніх за точністю для створення геодезичних мереж в населених пунктах з багатоповерховою забудовою або ж у гірській місцевості чи на залісненій території, ще є досить проблематичним. Тож використовують поєднання GPS-позиціювання на відкритих ділянках місцевості та прокладання полігонометричних ходів на ділянках місцевості, де відбувається екранування сигналу GPS-супутників висотними спорудами, пагорбами та деревами [3].

Для вимірювання відстаней та кутів у полігонометричних ходах наразі застосовуються електронні тахеометри.

Закріплення пунктів геодезичних мереж в населених пунктах виконується, в основному, за допомогою стінних знаків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для прив'язки до стінних знаків чи визначення планових координат центрів стінних знаків з використанням електронних тахеометрів застосовують різноманітні візирні цілі [4; 5]. Одним з елементів конструкції візитних цілей є відбивач у вигляді тріпель-призми – для вимірювання відстаней, а візирна марка – для вимірювання горизонтальних кутів.

Центри стінних знаків розташовані досить близько до площини стіни чи цоколя споруди. Тому недоліком існуючих візирних цілей є те, що габарити візирних марок і тріпель-призм зменшують сектор повороту візирних цілей в напрямку на електронний тахеометр. Це додає незручностей під час визначення місця для встановлення електронного тахеометра. Тому було запропоновано новий пристрій для прив'язки до стінних знаків [6], конструкція якого позбавлена вказаних незручностей.

Виникла потреба у визначенні сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків, виготовленим на кафедрі геодезії, картографії та землеустрою ЧНТУ.

Існують різні способи визначення сталої електронного віддалеміра [7]. За аналог взято спосіб, який ґрунтується на порівнянні відстаней, виміряних електронним тахеометром та компарованим мірним пристроєм.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Застосування електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків потребує подальшого розвитку методики визначення сталої віддалеміра, який вбудовано в електронний тахеометр.

**Мета статі.** Головною метою цієї роботи є ознайомлення з розробленою методикою визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR з використанням нового пристрою для прив'язки до стінних знаків.

**Виклад основного матеріалу.** Стінний знак 1 (рис. 1, а) має центр у вигляді отвору 2 малого діаметра, координати якого визначаються від найближчих пунктів геодезичної мережі. Стінний знак, що закладається у стіну 3 або цоколь капітальної споруди, зберігає координати на тривалий час та використовується для проведення прив'язки пунктів нової геодезичної мережі.

Під час прив'язки до стінного знаку електронний тахеометр встановлюється на короткій відстані від знаку та вимірюються напрям і відстань до нього.

Вибору місця встановлення електронного тахеометра можуть заважати місцеві предмети або дерева, які з'явилися від моменту закладки знаку до моменту прив'язки. Тому візирна ціль, яка встановлюється над центром стінного знаку, повинна забезпечувати якнайбільший сектор огляду.

Існують візирні цілі, типовим представником яких є візирна ціль, показана на рис. 1, б, яка має такі основні елементи: візирну марку 1, відбивач 2 у вигляді тріпель-призми, утримувачі відбивача 3, які дозволяють повертати відбивач у вертикальній площині, та перехідний пристрій 4 – для встановлення візирної цілі у верхню частину штанги, яка у нижній частині має конусоподібний наконечник для встановлення над центром стінного знаку. Штанга приводиться у вертикальне положення за допомогою круглого рівня, прикріпленого до неї.



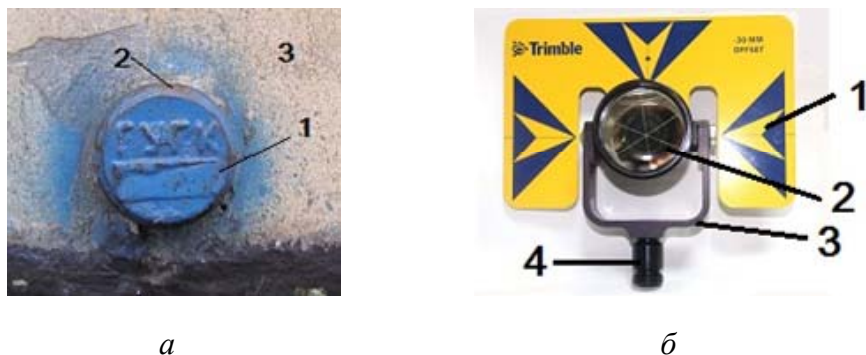


Рис. 1. Зовнішні вигляд стінного знаку та візирної цілі:

а – стінний знак, б – візирна ціль

З рис. 1 видно, що значні габарити візирної марки та тріпель-призми після встановлення на стінний знак дозволяють розвертати візирну ціль у напрямку на електронний тахеометр лише у малому за величиною секторі.

Запатентований [6] та виготовлений пристій для прив'язки до стінних знаків має основні конструктивні елементи, наведені на рис. 2. Він містить корпус 1, у верхній частині якого знаходиться закріпний гвинт 2, що закінчується конусоподібним наконечником, який вгвинчується в отвір центра стінного знаку. Для горизонтування пристрою використовується круглий рівень 3. Відбивач світлових сигналів від електронного тахеометра виготовлено у вигляді тріпель-призми 4 з комплекту світловіддалеміра СТ5 «Блеск». Насадка 5 на стінний знак має всередині порожнину, якою накриває головку стінного знаку. Закріпні гвинти 6, розташовані з обох боків насадки, загвинчуються шестигранною викруткою та утримують пристій на стінному знаку.

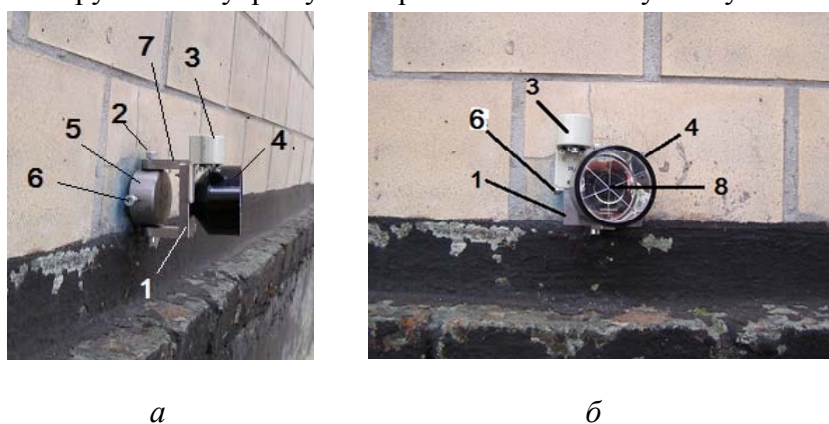


Рис. 2. Зовнішній вигляд пристрою, встановленого на стінний знак:

а – вигляд збоку, б – вигляд спереду

З рис. 2 видно, що відбивач 4 винесено за межі стінного знаку, а верхній та нижній рухомі важелі корпусу 1 дозволяють повертати відбивач в напрямку на електронний тахеометр у секторі, близькому до  $180^\circ$ . Цим забезпечується зручність у виборі місця встановлення електронного тахеометра під час прив'язки до стінного знаку.

Для визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків було використано коротку дистанцію. Це пов'язано з вимірюванням відстані за допомогою рулетки, коли провисання її полотна є мінімальним і не потребує врахування у результати вимірювання та добре видно середину 8 (див. рис. 2,б) відбивної поверхні тріпель-призми, утвореної перетином граней окремих призм, які складають її конструкцію.





*Рис. 3. Вимірювання відстані за допомогою електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до сінних знаків*

На штативі 1 (рис. 3) було встановлено електронний тахеометр Trimble 3305 DR 2, а новий пристрій 3 встановлено на стінний знак. Прицілювання на середину тріпель-призми було виконане видимим лазерним променем 4. Проведено серію з 30 вимірювань похилої відстані. Були взяті відліки за вертикальним кругом у напрямку на видимий центр 8 тріпель-призми (див. рис. 2, б) – для обчислення кута нахилу похилої відстані відносно горизонту.

Далі, електронний тахеометр, встановлений на штативі 1, було вилучено з трегера, а на його місце встановлено відліковий пристрій 2 (рис. 4). Новий пристрій знімався з стінного знаку. Полотно рулетки 3 своїм початком градуювання сполучалось з центром стінного знаку 4. Інший кінець рулетки 5 натягувався динамометром 6 до позначки 10 кг.

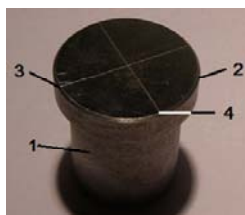
Технологія вимірювання контрольної відстані рулеткою Inter Tool включала:

- 1) орієнтування відлікових ліній відлікового пристрою паралельно торцю полотна рулетки та закріплення відлікового пристрою закріпним гвинтом підставки;
- 2) сполучення поділки рулетки 0,1 м з центром отвору стінного знаку;
- 3) взяття відліків за рулеткою по відліковому пристрою відносно відлікової лінії, яка перпендикулярна торцю полотна рулетки.



*Рис. 4. Вимірювання контрольної відстані з використанням рулетки*

Відліковий пристрій (рис 5) має вигляд циліндра 1, у верхній частині якого розташована кругла платівка 2 з нанесеними різцем через її центр двох тонких відлікових ліній 3 та 4 під кутом  $90^\circ$  одна відносно одної. Такий відліковий пристрій було використано у попередніх дослідженнях [8], які показали відсутність ексцентриситету центру перетину ліній відносно осі обертання відлікового пристрою у межах точності вимірювань за рулеткою до 0,1 мм.



*Рис. 5. Зовнішній вигляд відлікового пристрою*

Було виконано 10 вимірювань контрольної відстані. Наступним кроком було опрацювання результатів вимірювань. У табл. 1 наведено результати вимірювань та опрацювання контрольної відстані. Відстань  $S_p$ , виміряна рулеткою дорівнює

$$S_p = \bar{S}_p + \Delta S_t + \Delta S_k, \quad (1)$$

де  $\bar{S}_p$  – середнє значення контрольної відстані,  $\Delta S_t = 12,5 \cdot 10^{-5} (t - 20) \cdot \bar{S}$  – поправка за температуру вимірювання відстані  $t = +14^\circ\text{C}$ ,  $\Delta S_k$  – поправка за компарування, яке було виконане з використанням контрольної лінійки, яка має ціну поділки 0,02 мм.

Таблиця 1

*Результати вимірювання контрольної відстані за допомогою рулетки та застосування критерію Колмогорова*

№	$S_i$	$V_i$	$Z_i$	$Z'_i$	$\bar{F}(z_i)$	$F(z_i)$	$D_i$
1	3,4438	-0,28	-1,4	-1,4	0,05	0,081	-0,031
2	3,4442	0,12	0,6	-0,9	0,15	0,184	-0,034
3	3,4443	0,22	1,1	-0,9	0,25	0,184	0,066
4	3,4443	0,22	1,1	-0,9	0,35	0,184	0,166
5	3,4439	-0,18	-0,9	-0,4	0,45	0,345	0,105
6	3,4439	-0,18	-0,9	0,6	0,55	0,726	-0,176
7	3,4440	-0,08	-0,4	0,6	0,65	0,726	-0,076
8	3,4442	0,12	0,6	1,1	0,75	0,864	-0,114
9	3,4443	0,22	1,1	1,1	0,85	0,864	-0,014
10	3,4439	-0,18	-0,9	1,1	0,95	0,864	0,086
Середнє значення вимірюваної відстані $\bar{S}_p$ , м							3,44408
Поправка за температуру $\Delta S_t$ , м ( $t = +14^\circ\text{C}$ )							-0,00027
Поправка за компарування $\Delta S_k$ , м							0,00074
Виправлена відстань $S_p$ , м							3,44455
Перевищення кінців мірної стрічки $h_p$ , м							-0,17774
Горизонтальне прокладення $D_p$ , м							3,44010
Приведене горизонтальне прокладення $D_p \cdot k$ , м							3,44196
СКП одного вимірювання з вибірки $m_p$ , мм							0,199
СКП середнього значення з вибірки $M_p$ , мм							0,0629
Статистика з вибірки $ D_{\max} $ / табличне значення $D_q$ ( $q = 0,05$ )							0,176/0,41

Була обчислена вибіркова середня квадратична похибка (СКП) одного вимірювання рулеткою  $m_p$  (табл. 1), середнє значення вимірюваної відстані  $M_p$ , відхилення  $V_i$  від середнього значення кожного вимірювання, нормовані відхилення  $Z_i$ ; побудовано варіаційний ряд  $Z'_i$ ; обчислено  $\bar{F}(z_i) = \frac{i-0,5}{n}$  – емпіричні функції розподілу для порядкового номера вимірювання  $i$  та числа вимірювань  $n = 10$ ; з таблиць [9] визначені теоретичні значення нормованої функції розподілу  $F(z_i)$ ; обчислені різниці  $D_i = \bar{F}(z_i) - F(z_i)$ , з яких взято  $|D_{\max}| = 0,176$  та з таблиць [9] визначено статистику  $D_q = 0,41$ . Оскільки  $|D_{\max}| < D_q$ , то розподіл статистичного ряду вимірювань контрольної відстані не суперечить нормальному.

Результати вимірювання відстані з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 DR та розрахунки за критерієм Аббе наведені в табл. 2. Визначено: послідовні різниці результатів вимірювання  $d = S_{i+1} - S_i$ , їх квадрати  $d^2$ , дисперсія з різниць

$$m_d = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} d_i^2, \text{ середнє значення вимірюваної відстані } \bar{S}_T, \text{ дисперсія з вибірки,}$$

$m_d = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} (S_i - \bar{S}_T)$ , статистика з вибірки  $\delta = \frac{m_d^2}{m^2}$ , табличне значення статистики

$\delta_q = 0,71$  [9]. Оскільки  $\delta > \delta_q$ , то систематична похибка у результатах вимірювання відсутня. Необхідність цих розрахунків виникла через припущення можливого впливу на результати вимірювань відстані нагрівання тахеометра. Крім того, обчислені: значення асиметрії  $S$  та ексцесу  $E$  з використанням програмного забезпечення Excel; дисперсія асиметрії та ексцесу  $D_S = \frac{6(n-1)}{(n+1)(n+3)}$ ,  $D_E = \frac{24(n-3)}{(n+3)(n+5)}$  для  $n = 30$ ; параметр  $t = 2$  з таблиць розподілу

Стюдента для  $q = 0,05$ ; припустимі значення дисперсії  $t\sqrt{D_S}$  та ексцесу  $t\sqrt{D_E}$  (табл. 2).

Оскільки  $|S| \leq 2\sqrt{D_S}$  та  $|E| \leq 2\sqrt{D_E}$ , то розподіл результатів вимірювань відстані з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 DR не суперечить нормальному [9].

Обчислені також: кут нахилу візирного променя  $\nu$  електронного тахеометра; перевищення візирного променя  $h_T = \bar{S}_T \cdot \sin \nu$ ; горизонтальне прокладення відстані  $D_T = \bar{S}_T \cdot \cos \nu$  (див. табл. 2).

Таблиця 2

*Результати вимірювання відстані за допомогою тахеометра Trimble 3305 DR та розрахунки за критерієм Аббе, асиметрії та ексцесу*

№	$S_i$ , м	$d$ , мм	$d^2$ , мм <sup>2</sup>	№	$S_i$ , м	$d$ , мм	$d^2$ , мм <sup>2</sup>
1	3,418	0	0	16	3,419	-1	1
2	3,418	1	1	17	3,418	1	1
3	3,419	-1	1	18	3,419	0	0
4	3,418	0	0	19	3,419	1	1
5	3,418	0	0	20	3,42	-1	1
6	3,418	0	0	21	3,419	0	0
7	3,418	0	0	22	3,419	1	1
8	3,418	0	0	23	3,42	-2	4
9	3,418	0	0	24	3,418	2	4
10	3,419	0	0	25	3,42	-3	9
11	3,419	-1	1	26	3,417	2	4
12	3,418	1	1	27	3,419	-1	1
13	3,419	-1	1	28	3,418	1	1
14	3,418	1	1	29	3,419	0	0
15	3,419	0	0	30	3,419	0	0
$\Sigma$			6				28
$\Sigma \Sigma$							34
Дисперсія з різниць $d$ , мм <sup>2</sup>							0,586
Дисперсія з вибірки $m_T^2$ , мм <sup>2</sup>							0,524
Статистика з вибірки $\delta$							1,12
Табличне значення статистики $\delta_q$ ( $q = 0,05$ )							0,71
Середнє значення вимірюваної відстані $\bar{S}_T$ , м							3,41860
Нахил візирного променя $\nu$							- 0°07'54"
Перевищення візирного променя $h_T$ , м							0,00786
Горизонтальне прокладення $D_T$ , м							3,41859
Вибіркові: асиметрія $S$ / ексцес $E$							0,210 / - 0,234
Дисперсії: асиметрії $D_S$ / ексцесу $D_E$							0,170 / 0,561
Припустимі значення: дисперсії $2\sqrt{D_S}$ / ексцесу $2\sqrt{D_E}$							0,825 / 1,498
Стала для пари «Trimble 3305 DR – новий пристій» $c$ , мм							+ 23,4

Для визначення горизонтального прокладення  $D_p$  необхідно обчислити перевищення  $h_p$  кінців полотна рулетки під час вимірювання контрольної відстані. На рис. 6 зображено: стіна споруди 1; стінний знак 2; центр стінного знаку 3; верхній рухомий важіль нового пристрою 4; відбивач у вигляді тріпель-призми 5, відбивна поверхня 6 тріпель-призми; горизонтальна вісь стінного знаку 7; точка перетину 8 осі стінного знаку з візирним променем електронного тахеометра 9 від зорової труби 10; вісь обертання зорової труби 11; платівка 12 відлікового пристрою (див. рис. 5, позиція 2) після вилучення тахеометра з отвору трегера та встановлення на його місце відлікового пристрою; полотно рулетки 13 під час вимірювання контрольної відстані; кут нахилу візирного променя тахеометра  $\nu_T$ ; радіус головки стінного знаку  $R$ ; перевищення полотна рулетки  $h_p$ ; відстань від осі обертання зорової труби до верху платівки відлікового пристрою  $a$ ; перевищення осі обертання зорової труби електронного тахеометра відносно горизонтальної осі стінного знаку; відстані, виміряні рулеткою  $S_p$  і електронним тахеометром  $S_T$  та відповідні їм горизонтальні прокладення  $D_p$  та  $D_T$ ; стала  $c$  нового пристрою для прив'язки до стінних знаків у комплекті з електронним тахеометром Trimble 3305 DR.

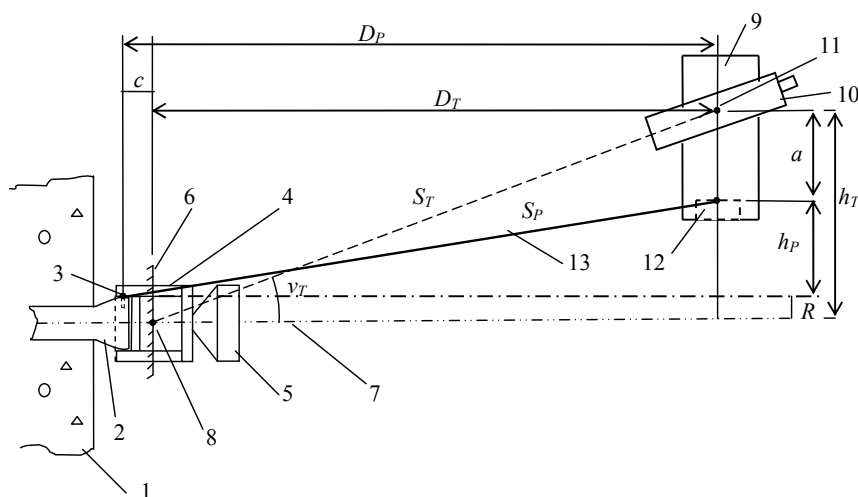


Рис. 6. Взаємне положення приладдя під час визначення сталої

Розмір  $a$  був визначений, як різниця відстані від осі обертання зорової труби до низу корпусу тахеометра (дорівнює 0,172 м), та висоти платівки відлікового пристрою ( $b = 0,0095$  м) і становить  $a = 0,1625$  м.

З рис. 6 видно, що

$$h_p = h_T - a - R = h_T - (a + R) = h_T - d. \quad (2)$$

З урахуванням значень  $a$ ,  $h_T$  (табл. 2) та  $R = 0,0231$  м, формули (2)  $d = 0,1856$  мм та  $h_p = -0,1777$  м.

Розрахунок перевищення полотна рулетки під час визначення контрольної відстані за конструктивними параметрами електронного тахеометра та відлікового пристрою дозволяє не виконувати стандартну процедуру з визначення цього перевищення за допомогою електронного тахеометра з додаткової станції, чим скорочується час на польові вимірювання та камеральні розрахунки, адже визначення сталої потрібно виконувати періодично [7], а конструктивні параметри є величинами сталими для конкретної пари «електронний тахеометр, відліковий пристрій».

Наступним кроком є визначення горизонтального прокладення контрольної відстані  $D_p$  (рис. 6)

$$D_p = \sqrt{S_p^2 - h_p^2}, \quad (3)$$

та приведення горизонтального прокладення  $D_p \cdot k$  (табл. 2). Масштабний коефіцієнт  $k = 1,000578$  [10].

Стала електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим приладом для прив'язки до стінних знаків визначається за формулою (рис. 7)

$$c = \frac{D_p \cdot k - D_T}{\cos \nu_T}. \quad (4)$$

Значення сталої  $c$  наведено у табл. 2.

Крім визначення числового значення сталої, потрібно розрахувати її точність. Якщо врахувати наведені вище формули та позначення, можна отримати вихідне рівняння для визначення СКП сталої  $m_c$

$$c = k \sqrt{\frac{S_p^2}{\cos^2 \nu_T} - [S_T \cdot \operatorname{tg} \nu_T - \frac{1}{\cos \nu_T} (R + a - b)]^2 - S_T}. \quad (5)$$

Після диференціювання виразу (5) та переходу до СКП і розрахунків для наведених значень:  $d = R + a - b = 0,1856$  м;  $S_T$ ,  $S_p$ ,  $\nu_T$ ,  $m_p$  (табл. 1, табл. 2);  $k = 1,000578$ ; СКП визначення  $k - m_k = 5,62 \cdot 10^{-5}$  [10]; СКП вимірювання кута  $5''$ ; СКП вимірювання розмірів  $R, a, b$  штангенциркулем  $0,05$  мм (приймається для довірчої ймовірності  $P = 0,95$ ; СКП вимірювання короткої відстані електронним тахеометром Trimble 3305 DR  $m_T = 2$  мм та з утриманням найбільш вагомих доданків одержано формулу для визначення СКП сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR в комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків:

$$m_c = \sqrt{m_{S_T}^2 + m_{S_p}^2}. \quad (6)$$

За даними експериментального дослідження та опрацювання результатів СКП  $m_{S_p}$  можна було б прийняти рівним СКП середнього значення з результатів вимірювання контрольної відстані за допомогою рулетки. Однак, проведено тільки 10 вимірювань контрольної відстані, тому оцінка точності за малим об'ємом вибірки не є надійною. Доцільно визначити граничну величину СКП середнього значення. Для цього для довірчої ймовірності  $P = 0,95$  були визначені величини:  $\beta_1 = (1 - 0,95) / 2 = 0,03$ ;  $\beta_2 = 1 - \beta_1 = 1 - 0,03 = 0,97$ ;  $n - 1 = 10 - 1 = 9$ . За значеннями вхідних величин  $\beta_2 = 0,95$  та  $n - 1 = 9$  з таблиць розподілу  $\chi^2$  [9] визначено  $\chi = 2,205$  та коефіцієнт  $\gamma = \sqrt{n - 1 / \chi^2} = \sqrt{9 / 2,205} = 2,020$ . В результаті гранична величина для СКП середнього значення з результатів вимірювання контрольної відстані  $M_p$  (табл. 1) за допомогою рулетки становитиме  $M_{P_{TP}} = \gamma \cdot M_p = 2,020 \cdot 0,0629 = 0,1271$  мм.

У ролі СКП  $m_{S_T}$  вимірювання відстані за допомогою електронного тахеометра Trimble 3305 DR було використано рівняння його точності  $m_S = 2 \text{ мм} + 2 \text{ мм} \cdot S_{\text{км}}$ , отримане в результаті багаторазового вимірювання контрольних відстаней на місцевості та наведено у паспорті тахеометра, яке для середнього значення відстані  $\bar{S}_T = 3,4186$  м, вираженої у кілометрах, дозволяє отримати  $m_S = 2 \text{ мм} + 2 \text{ мм} \cdot 0,0034 = 2,007 \text{ мм}$ . Тоді СКП середнього значення для числа вимірювання відстані електронним тахеометром  $n = 30$  становитиме

$M_T = m_s / \sqrt{n} = 2,007 / \sqrt{30} = 0,3664$  мм. Приймається  $m_{s_T} = M_T = 0,3664$  мм. Тоді згідно з формулою (6) СКП визначення сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків дорівнює  $m_c = \sqrt{(0,3664)^2 + (0,1271)^2} = 0,388$  мм.

З наведеного розрахунку видно, що збільшення точності визначення сталої можливе за рахунок збільшення числа вимірювань відстані за допомогою електронного тахеометра.

У підсумку, для довірчої ймовірності  $P = 0,95$ , значення сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків визначено в межах  $(+23,4 \pm 2,0 \cdot 0,388)$  мм  $= (+23,4 \pm 0,8)$  мм.

**Висновки.** Виконані експериментальні дослідження та опрацювання результатів з визначення сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR у комплекті з новим пристроєм для прив'язки до стінних знаків. Проведена статистична перевірка рядів вимірювань, яка показала відсутність систематичних похибок у рядах вимірювань та відповідність нормальному розподілу результатів.

Величина сталої становить  $(+23,4 \pm 0,8)$  мм.

### Список використаних джерел

1. Tereshchuk O. Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlenets / O. Tereshchuk, I. Nystorik // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2016. – Вип. 84. – С. 90–98.
2. Шульц Р. В. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторіак // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.
3. Бурачек В. Г. Сумісне використання GPS-технологій та електронної тахеометрії для визначення координат точок опорної мережі / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторіак // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій : II наук.-практ. конф. – К. : НАУ, 2013. – С. 70–75.
4. Рекламний проспект на електронні тахеометри KTS- 580(R) SERIES [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kolidainstrument.com>.
5. Электронные тахеометры Topcon, аксесуары [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.topcon.com>.
6. Патент на корисну модель №115048 України. Пристрій для прив'язки до стінних знаків. Крячок С. Д., Батюта О. С., Мамонтова Л. С., Потеруха В. О., Прохоренко О. П. – заявл. 21.11.16 ; опубл. 12.06.17, Бюл. №11. – 4 с.
7. Крячок С. Д. До визначення постійної поправки електронних віддалемірів / С. Д. Крячок // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – № 2. – С. 4–7.
8. Крячок С. Д. Приведення ліній, вимірювань рулеткою та електронним тахеометром, до одного масштабу / С. Д. Крячок, Л. С. Мамонтова, Ю. В. Щербак // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2017. – № 2 (8). – С. 7–15.
9. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів : навчальний посібник / С. П. Войтенко. – К. : КНУБА, 2003. – 216 с.
10. Крячок С. Д. Приведення ліній, вимірювань рулеткою та електронним тахеометром, до одного масштабу (продовження) / С. Д. Крячок // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2017. – № 3 (9). – С. 9–19.

### References

1. Tereshchuk, O. & Nestoryk, I (2016). Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlenets. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznmannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, issue 84, pp. 90–98.
2. Shults, R.V., Tereshchuk, O.I., Annenkov, I.O, (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat za suputnykovymy tekhnolohiiamy v realnomu chasi [Practical studies of the accuracy of coordinates by satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziy – Engineering geodes*, issue 61, pp. 58–77 (in Ukrainian).

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. Burachek, V.H. & Nistor'yak, I.O. (2013). Sumisne vykorystannia GPS-tekhnologiy ta elektronnoi takheometrii dlia vyznachennia koordynat tochok opornoyi merezhi [Compatible use of GPS technology and electronic tacheometry to determine the coordinates of the points of the reference network]. Proceedings from *Naukovi aspekty heodezii, zemleustroi ta informatsiinykh tekhnolohii: II nauk.-prakt. konf. – Scientific aspects of geodesy, land management and information technologies. Conference proceedings of the Scientific and Practical Conference*] (Kyiv). Kyiv: NAU, pp. 70–75 (in Ukrainian).
4. *Reklamnyy prospekt na elektronnykh takheometri KTS- 580(R) SERIES [Promotional banner on electronic tacheometers KTS- 580(R) SERIES]*. Retrieved from. <http://www.kolidainstrument.com>.
5. *Elektronnye takheometry Topcon, aksesuary [Topcon Electronic Tacometers, Accessorie]. Ofitsiyni sait Topcon [Site of Topcon]*. Retrieved from. <http://www.topcon.com>.
6. Kryachok, S.D., Batyuta, O.S., Mamontova, L.S., Poterukha, V.O., & Prokhorenko, O.P. (2017). *Pryatrii dlia pryv'iazky do stinnykh znakov [Devices for fix to wall signs]*. Patent Ukrainian No. № 115048.
7. Kryachok, S.D. (2015). Do vyznachennia postiinoi popravky elektronnykh viddalemiramy [To determine the constant correction electronic rangefinders]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of geodesy and cartography*, no. 2, pp. 4–7 (in Ukrainian).
8. Kryachok, S.D., Mamontova, L.S., Shcherbak, & Yu.V. (2017) *Pryvedennya liniy, vymiryuvanykh ruletkoiu ta elektronnym takheometrom, do odnogo masshtabu [Bringing lines, which were measured by roulette and electronic total station, to one scale]*. *Tekhnichni nauky i tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, no. 2 (8), pp. 7–15 (in Ukrainian).
9. 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).
10. Kryachok, S.D. *Pryvedennya liniy, vymiryuvanykh ruletkoyu ta elektronnym takheometrom, do odnogo masshtabu (prodovzhennya) [Bringing lines, which were measured by roulette and electronic total station, to one scale (continuation)]*. *Tekhnichni nauky i tekhnolohiyi – Technical sciences and technologies*, no. 3 (9), pp. 9–19 (in Ukrainian).

UDC 528.3

Serhiy Kryachok, Lyudmila Mamontova, Roman Haistruk

# DETERMINATION OF A CONSTANT CORRECTION OF RANGEFINDER OF ELECTRONIC TOTAL STATION WITH USING A NEW DEVICE FOR REMOVAL OF COORDINATES FROM WALL MARKS

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

**Target setting.** In the practice of geodetic measurements, satellite technology is increasingly being used [1, 2].

But GPS positioning also has its disadvantages. The use of GPS technology to determine the coordinates of points in settlements with multi-storey buildings, in mountainous terrain in the woods, is still quite problematic. In these areas, a combination of GPS positioning and polygonometric networks [3] is used.

To measure distances and angles in polygonometric networks, electronic tacheometers are currently being used.

Fixing of points of geodetic networks in settlements is carried out, basically, with the help of wall signs.

**Actual scientific researches and issues analysis** For binding to wall signs using electronic tachymeters, various visions are used [4,5]. The centers of the wall signs are located quite close to the wall or base of the building. The disadvantages of such devices are significant dimensions. This reduces the sector of device inspection from the side of the station.

Therefore, a new conjecture was proposed for binding to wall signs [6], whose construction deprives these inconveniences.

There was a need to determine the remote distance meter of the Trimble 3305 DR electronic meter, complete with a new device for binding to wall signs.

There are various ways to define a stable electronic distance monitor [7]. An analog method is used to compare short distances measured by an electronic stationer and a measuring device, a tape measure.

**Uninvestigated parts of general matters defining** The use of the Trimble 3305 DR electronic meter, complete with a new device for removal coordinates from the wall marks, requires the further development of a method for determining the constant correction electronic rangefinder.

**The research objective.** The main purpose of this work is to familiarize with the developed method for determining the constant correction of the electronic rangefinder Trimble 3305 DR, complete with a new device for removal coordinates from the wall marks.

**The statement of basic materials.** The new device [6] for attaching to wall signs has the following basic design elements: the body, the upper part of which is a fixing screw ending with a conical tip, which is screwed into the hole of the center of the wall sign. A round level is used to bring the device to its working condition. The reflector of light signals from

the electronic station is made in the form of a troll-prism. The marker on the wall is inside the cavity, which covers the head of the wall sign. Fixing screws hold the stick on the wall sign.

It was measured 30 times the short distance Trimble 3305 DR on the reflector of the new device, fixed on the wall sign. Then the new device was removed from the wall sign. A special device for counting distances up to 0.1 mm was installed in the treadmill instead of the station. Measure the same distance with the inter tool roulette 10 times relative to the center of the wall sign. The average values of the measured distances were calculated and brought to the horizon. The distances were corrected for temperature and computation.

The results of the measurements were to be determined by the constant error of the ABBA criterion, the correspondence to the normal distribution by the Kolmogorov criterion and using asymmetry and excess.

The result is a constant and average square error of its definition.

**Conclusions.** The experimental researches and processing of the results for the determination of the permanent electronic timer, Trimble 3305 DR, are completed with a new device for binding to wall signs. A statistical check of series of measurements has been carried out, which showed the absence of systematic errors in the measurement series and correspond to the normal distribution of results. The constant value is  $+ 23.4 \text{ mm} \pm 0.8 \text{ mm}$ .

**Key words:** measuring distances; roulette; electronic total station; the constant correction of an electronic total station.

Fig.: 6. Tabl.: 3. Bibl.: 10.

УДК 528.3

Сергей Крячок, Людмила Мамонтова, Роман Гайструк

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ДАЛЬНОМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПРИВЯЗКИ К СТЕННЫМ ЗНАКАМ

Описана методика определения постоянной поправки электронного тахеометра в комплекте с новым устройством для привязки к стенным знакам. В экспериментальном исследовании была использована рулетка Inter Tool и электронный тахеометр Trimble 3305 DR. Сущность эксперимента заключалась в многократном измерении короткой линии рулеткой и тахеометром. Результаты измерений подлежали выявлению постоянной погрешности по критерию Аббе, соответствия нормальному распределению по критерию Колмогорова и с использованием асимметрии и эксцесса. В итоге рассчитано значение постоянной поправки и среднюю квадратическую погрешность ее определения.

**Ключевые слова:** измерения расстояний; рулетка; электронный тахеометр; постоянная поправка электронных дальнометров.

Рис.: 6. Табл.: 3. Библ.: 10.

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14037, 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:** kryachock.serg@yandex.ua

**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@yandex.ua

**Гайструк Роман Геннадійович** – магістрант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна).

**Гайструк Роман Геннадьевич** – магистрант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14027, Украина).

**Roman Haistruk** – master student, Chernihiv National University of Technology. (95 Shevchenko Str., 14027, Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** roma\_jackdaniels@ukr.net



**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*

*№ 4 (10)*

Відповідальний за випуск

О. І. Пилипенко

Коректор

О. С. Сметлова

Комп'ютерна верстка і макетування

Т. М. Колот

Підписано до друку 11.12.2017. Формат 60x84/8. Друк різнографія.

Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. – 32,31.

Тираж 100 пр. Замовлення № 404/17.

---

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.