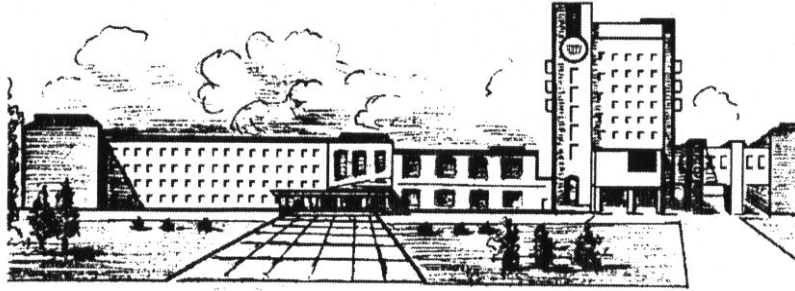


ISSN 2411-5363 (print)  
ISSN 2519-4569 (online)

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



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 1 (11)***

Чернігів 2018

УДК 62:67.05  
Т38

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 3 від 26.02.2018 р.). Науковий журнал «Технічні науки та технології» внесено до переліку наукових фахових видань України, затвердженого Наказом Міністерства освіти і науки України від 28.12.2017 р. № 1714.

**Технічні науки та технології** : науковий журнал / Черніг. нац. технол. ун-т. – Чернігів : ЧНТУ, Т38 2018. – № 1 (11). – 288 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 Балудяньського, Словаччина;

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

Гусев О. О., кандидат технічних наук, доцент;

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

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

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

Зайцев С. В., доктор технічних наук, професор;

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;

Сапон С. П., кандидат технічних наук, доцент;

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.

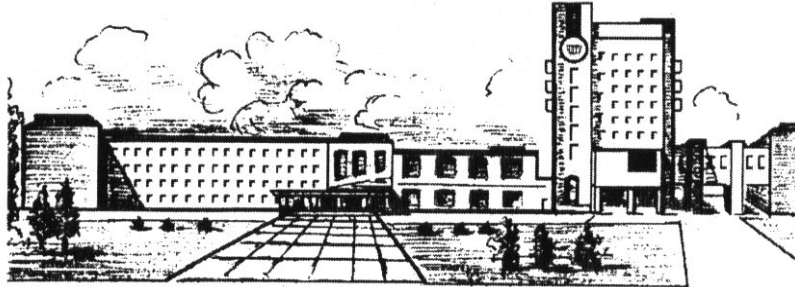
Заснований у 1996 році. Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 21269-11069 ПР від 12.03.2015.

© Чернігівський національний технологічний університет, 2018



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 № 1 (11)***

Chernihiv 2018

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 3 dated 26.02.2018). 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 December 28, 2017 № 1714.

**Technical sciences and technologies** : scientific journal / Chernihiv National University of Technology. – Chernihiv : Chernihiv National University of Technology, 2018. – № 1 (11). – 288 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;

Husev O. O., PhD in Technical Sciences, Associate 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;

Zaitsev S. V., Doctor of Technical Science, 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;

Sapon S. P., PhD in Technical Science, Associate 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 1. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

<i>Дубягін О.</i> Міжрівневе заміщення – канонічна форма міжрівневого балансу .....	9
<i>Деркач О.</i> Нестационарні демпфировані коливання споруди з урахуванням взаємодії з основою .....	18

## РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Кальченко В., Венжега В., Литвин О., Кальченко Д.</i> Дослідження процесу двостороннього шліфування торців різного діаметра штовхачів з калібруючими ділянками та без них .....	25
<i>Литвин О., Ящук І.</i> Обґрунтування параметрів цангового патрона для закріплення штучних заготовок .....	32
<i>Хоменко А., Космач О.</i> Моделювання руйнування композиційних матеріалів у випадку складного напруженого стану .....	41
<i>Pilipenko O.</i> Resource-saving technologies of machine elements production .....	48

## РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Болотов Г., Болотов М.</i> Прецизійне зварювання тиском волокнистих композиційних матеріалів на металевій основі .....	58
---	----

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Богдан І., Задорожний А.</i> Класифікація помилок на UML-діаграмах, що виникають в ході розробки ІТ-проектів .....	68
<i>Кунгурцев А., Новикова Н., Решетняк М., Черепинина Я.</i> Уточнення класифікації і моделей пунктів сценарієв варіантів використання .....	79
<i>Одарченко Р., Харлай Л.</i> Метод резервування ресурсів та балансування навантаження в транспортній мережі з урахуванням основних характеристик мережі .....	89
<i>Акименко А., Башиїнська О., Казимир В., Камак Ю., Несстеренко С.</i> Обґрунтування номенклатури показників якості систем керування безпілотними авіаційними комплексами .....	97
<i>Казутур V., Zarovsky R., Radchenko A.</i> Recognition of license plates symbols of different formats .....	106
<i>Lytvynov V., Stoianov N., Skiter I., Trunova H., Hrebennyk A.</i> Corporate networks protection against attacks using content-analysis of global information space .....	115

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

<i>Владов С., Бойко С., Городний А., Климова Я., Вершняка Л.</i> Применение уравнений марковского процесса при диагностике состояния авиационного двигателя вертолета Ми-8МТВ при его эксплуатации в реальных режимах работы .....	131
<i>Яценко С., Войтенко В., Єршов Р.</i> Реалізація блока просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції у складі контролера індукційного двигуна на базі ПЛІС .....	140

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

<i>Сиза О., Тимкова І., Савченко О., Челябієва В.</i> Ефективність контролю якості харчових продуктів методом тонкошарової хроматографії .....	150
<i>Бойко С., Єрошенко А., Ігнатенко П.</i> Підготовка виробництва меблевих фасадів за допомогою сучасних САМ-систем .....	159
<i>Буяльська Н., Музиченко О.</i> Використання кальцієвмісних добавок у виробництві хлібобулочних виробів функціонального призначення .....	168
<i>Єфімова В., Пилипенко Т., Нікора О., Невпруга П.</i> Розробка рецептури емульсійного косметичного продукту на основі колоїдних закономірностей .....	178
<i>Заморська І.</i> Поліпшення консистенції заморожених пюреподібних сумішей на основі пюре суничного .....	188

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

<i>Ягелюк С., Ткачук В., Речун О.</i> Формування ринку технічних культур в Україні .....	195
<i>Ковальова В.</i> Розробка комплексного коректора для стабілізації якості борошна на борошномельних заводах.....	206

**РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

<i>Гомеля М., Трохименко Г., Глушко О.</i> Вплив іонів жорсткості на сорбцію важких металів на катіоніті .....	214
<i>Пінчевська О., Борячинський В., Ромасевич Ю.</i> Особливості кінетики інтенсифікованого сушіння заготовок з деревини дуба.....	224
<i>Драпалюк М., Пилипенко В.</i> Исследование влияния полимерных компонентов на коррозионостойкость бетона .....	232
<i>Крячок С.</i> Топографо-геодезичне забезпечення аеропортів .....	239
<i>Сатюков А., Приступа А., Журко В., Бивалькевич М.</i> Результати експериментальних досліджень впливу вологості стінових будівельних матеріалів на проходження радіохвиль НВЧ діапазону .....	252
<i>Хохотва О., Бутченко Л., Гомеля М.</i> Використання модифікованих і композиційних феритних сорбентів для селективного вилучення $\text{Cu}^{2+}$ .....	264
<i>Осауленко К., Мережко Н.</i> Стійкість паперу з тонкошаровими кремнійорганічними покриттями до дії механічних навантажень .....	273
<i>Deuneka S.</i> The sowing of vegetable germinated grain using a hydroseeder .....	280

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

287

## CONTENT

## SECTION I. MECHANICS AND APPLIED MATHEMATICS

- Dubyagin A.* Inter-level substitution – the canonical form of the inter-level balance.....9  
*Derkach O.* Damped non-stationary oscillations of a structure including structure-soil interaction..... 18

## SECTION II. MACHINE-BUILDING AND MOTOR TRANSPORT TECHNOLOGIES

- Kalchenko V., Venzhaga V., Lytvyn O., Kalchenko D.* Investigation of the process of torches double-sided grinding of pushers with different diameters with calibration parts and without them .....25  
*Litvin O., Yashchuk I.* Justification of the parameters of the chuck cartridge for fastening of artificial billets.....32  
*Khomenko A., Kosmach A.* Simulation of destruction of composite materials in case of complex strength condition .....41  
*Pilipenko O.* Resource-saving technologies of machine elements production.....48

## SECTION III. WELDING AND MATERIALS SCIENCE

- Bolotov G., Bolotov M.* Precision pressure welding fiber composite materials on metal base .....58

## SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

- Bohdan I., Zadorozhnii A.* The classification of errors on UML-diagrams occurring in the development of IT-projects.....68  
*Kungurtsev O., Novikova N., Reshetnyak M., Cherepinina Ya.* Updated classifications and models of scenarios of use cases .....79  
*Odarchenko R., Kharlay L.* The method of resources reservation and balancing of loading in the transport network with basic characteristics of network .....89  
*Akymenko A., Bashynska O., Kazymyr V., Kamak Yu., Nesterenko S.* The justification of the quality indicators nomenclature for the control systems of the unmanned aviation systems .....97  
*Kazymyr V., Zarovsky R., Radchenko A.* Recognition of license plates symbols of different formats.....106  
*Lytvynov V., Stoianov N., Skiter I., Trunova H., Hrebennyk A.* Corporate networks protection against attacks using content-analysis of global information space .....115

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

- Vladov S., Boiko S., Gorodny O., Klimova Ia., Vershniak L.* Application of the markov process equations with diagnostic of the state of the Mi-8MTV helicopter aircraft at its operation in real operation modes .....131  
*Yatsenko S., Voytenko V., Yershov R.* Implementation of the space-vector pulse-width modulation block as a part of induction motor controller based on FPGA .....140

## SECTION VI. TECHNOLOGIES OF FOOD AND LIGHT INDUSTRY

- Sizaya O., Tymkova I., Savchenko O., Cheliabieva V.* Efficiency of food products quality control by the method of thin-layer chromatography .....150  
*Boyko S., Yeroshenko A., Ignatenko P.* Preparation of furniture facades manufacturing by modern cam-systems .....159  
*Buialska N., Muzychenko O.* Use of calcium-containing additives in the production of bakery products of functional purpose .....168  
*Yefimova V., Pilipenko T., Nikora O., Nevyryaga P.* Development of emulsion cosmetics product based on colloidal regularities .....178  
*Zamorska I.* Improvement of the consistency of frozen pastelike mixtures based on strawberry sauce.....188  
*Yaheliuk S., Tkachuk V., Rechun O.* Formation of the market in Ukraine crops.....195  
*Kovalova V.* Development of the complex corrector for the stabilization of the quality of flour at the milling plants.....206

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

SECTION VII. CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT  
TECHNOLOGY

<i>Gomelya N., Trohymenko G., Hlushko O.</i> Influence of landscape ions on sorbtion of heavy metals on cationite .....	214
<i>Pinchevska O., Boriachynskiy V., Romasevych Yu.</i> Peculiarities of kinetics of intensified drying oak wood samples.....	224
<i>Drapaluk M., Pylypenko V.</i> Investigation of the impact of polymer components of concrete on corrosion resistance.....	232
<i>Kriachok S.</i> Topographic and geodetic support of airports .....	239
<i>Satukov A., Prystupa A., Zhurko V., Bivalkevich M.</i> Experimental investigations of the influence of humidity of wall construction materials on the performance of radio waves of a random line .....	252
<i>Khokhotva O., Butchenko L., Gomelya N.</i> The use of modified and composite ferritic sorbents for selective extraction of $\text{Cu}^{2+}$ .....	264
<i>Osaulenko K., Merezhko N.</i> The durability of paper with thin silicone coatings to the action of mechanical loadings.....	273
<i>Deyneka S.</i> The sowing of vegetable geminated grain using a hydroseeder .....	280

<b>BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES</b> .....	287
--	-----



# РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 311+512

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-9-17

Олександр Дубягін

## МІЖРІВНЕВЕ ЗАМІЩЕННЯ – КАНОНІЧНА ФОРМА МІЖРІВНЕВОГО БАЛАНСУ

**Актуальність теми дослідження.** Міжрівневе заміщення є основою для формування в агрегатній формі моделі та системи показників міжрівневого балансу, а останніми всебічно оцінюються наслідки керуючого впливу на структурований об'єкт і ефективність самого впливу.

**Постановка проблеми.** Наявні методики оцінки не враховують фактор пересування одиниць об'єкта з одного рівня ознаки на інший, через що структурний аналіз результатів впливу є неповним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжрівневе заміщення є новим поняттям. Раніше нами були запропоновані модель і система показників міжрівневого балансу, побудовані лише у значеннях рівневої чисельності одиниць об'єкта.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Модель міжрівневого балансу і система показників балансу, представлені в агрегатній формі.

**Постановка завдання.** Формалізація поняття «міжрівневе заміщення» як канонічної форми міжрівневого балансу у вигляді парних показників агрегованого абсолютного сальдо міжрівневого пересування та міжрівневого обороту одиниць структурованого об'єкта.

**Виклад основного матеріалу.** Міжрівневе заміщення одиниць об'єкта призводить до рівневих (позарівневих) втрат або до рівневого (позарівневого) поповнення об'єкта щодо ознаки, вимірюваної в цих одиниць в шкалі відношень на певному рівні (поза рівня) у станах «після» і «до» зовнішнього впливу. Загальний результат останнього аналітично можна представити узагальненим співвідношенням балансу. В агрегатній формі воно визначається через елементарні складові балансу, якими є чисельність пересувань і рівневі значення ознаки.

**Висновки відповідно до статті.** Математична форма міжрівневого заміщення є ключовою у формуванні моделі міжрівневого балансу та системи балансових показників пересування.

**Ключові слова:** міжрівневе заміщення; міжрівневий баланс; модель; оборот; сальдо; структурований об'єкт.

Табл.: 1. Рис.: 2. Бібл.: 1.

**Актуальність теми дослідження.** Запровадження канонічної форми міжрівневого балансу у виді міжрівневого заміщення є актуальною науковою задачею вдосконалення запропонованої автором методики: створення в агрегатній формі моделі та системи показників балансу, що уможливило кількісну оцінку наслідків керуючого впливу на структурований об'єкт і оцінку ефективності самого впливу.

**Постановка проблеми.** Кількісна оцінка наслідків керуючого впливу на об'єкт, який змінює свою рівневу структуру щодо ознаки, вимірюваної в його одиниць в шкалі відношень, зазвичай здійснюється через визначення узагальнюючих статистичних показників в обох станах об'єкта, «до» і «після» впливу, та не враховує фактор переміщення одиниць об'єкта, які є носіями ознаки, з одного рівня останньої на інший її рівень. Подібний аналіз стає можливим завдяки синтезуванню моделі «міжрівневого балансу», адаптованої до вимірювання наслідків керуючого впливу на об'єкт, тобто такої моделі, в якій чисельність одиниць об'єкта, представлених на тому чи іншому рівні ознаки в кожному з обох станів об'єкта, є вагою до відповідного рівня ознаки. Така форма моделі є агрегатною та для її започаткування пропонується увести, а в основу аналізу наслідків впливу рекомендується покласти нове поняття – «міжрівневе заміщення», представлене як канонічна форма міжрівневого балансу. Остання є ключовою для визначення балансових показників міжрівневого пересування одиниць об'єкта – показників, якими всебічно оцінюються наслідки керуючого впливу на об'єкт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Міжрівневе заміщення є новим поняттям в запропонованій автором методиці та результатом її інтерпретації в контексті агрегованих показників міжрівневого балансу. Щодо авторської методики, вона продиктована спробою кількісно пояснити зміну структури об'єкта через переміщення його окремих одиниць з одного рівня ознаки на інший її рівень, що призвело до запровадження балан-

сового методу для оцінки наслідків керуючого впливу. Реалізація методу стала можливою завдяки уведенню такого поняття, як «міжрівневий рух одиниць об'єкта», та створенню класифікації руху, що втілюється в балансову модель останнього та в систему показників міжрівневого балансу (руху), яка уможливує вичерпну оцінку структурних зрушень керованого об'єкта, де ключову роль мають відіграти балансові показники міжрівневого пересування. Аналогом моделі міжрівневого балансу є модель міжгалузевого балансу, запропонована Л. Л. Леонтьєвим [1, с. 8–18].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Такими є модель міжрівневого балансу і система показників балансу, представлені в агрегатній формі.

**Постановка завдання (мета статті).** Мета статті – обґрунтувати через міжрівневе заміщення, як через канонічну форму міжрівневого балансу, структуру співвідношення балансу, що закономірно пов'язує структуру об'єкта зі структурою руху його одиниць, а основне завдання – на базі цієї форми сформулювати основу для створення агрегованих балансових показників пересування.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянемо, до яких змін у значеннях ознаки призводить взаємодія на тому чи іншому її рівні рухомих одиниць об'єкта. Звісно, що це – взаємодія одиниць, прибулих на цей рівень з інших рівнів, й одиниць, вибулих з цього рівня на інші рівні. Таке переміщення може розглядатися як пересування навздогін і назустріч. Перше з них поділено на регресивне та прогресивне, друге – на регресивно-прогресивне та прогресивно-регресивне.

Спочатку розглянемо наслідки міжрівневого пересування в тріаді рівнів  $\{i, p, j\}$  (пари рівнів, якщо  $i = j$ ;  $i = 1, 2, \dots, k$ ;  $p = 1, 2, \dots, k$ ;  $j = 1, 2, \dots, k$ ). Для цього зобразимо на рисунках 1 і 2 схему пересування на довільно взятому рівні  $p$ . Рівень  $p$  «взаємодіє» з іншими рівнями (зображено в нижній частині кожного з фрагментів (а) і (б)): рівнем  $i$ , з якого  $n_{ip}$  одиниць об'єкта вибувають на рівень  $p$ ; рівнем  $j$ , на який  $n_{pj}$  одиниць об'єкта прибувають з рівня  $p$ . Якщо  $i = j$ , що є властивим лише для пересування назустріч, то взаємодія рівня  $p$  відбувається з тим же самим рівнем щодо вибуття та прибуття.

Наявність рухомих одиниць об'єкта на його рівні  $p$ , прибулих і вибулих разом і представлених в один з чотирьох способів їх взаємодії на рівні, означає, що на цьому рівні відбувається відповідне заміщення вибулих з нього одиниць прибулими на нього одиницями (*міжрівневе заміщення*), а разом з цим – і зміна значення ознаки, вимірюваної в цих одиниць у станах «після» і «до», наслідком чого можуть стати *міжрівневі втрати* або *міжрівневе поповнення* об'єкта щодо цієї ознаки. У взаємодії будь-яких трьох рівнів  $i, p, j$  (двох, коли  $i = j$ ) втрати (поповнення) можна представити як  *$p$ -рівневі*, якщо ознака вимірюється на рівні  $p$  (значенням  $l_p$ ), й як *поза  $p$ -рівневі*, якщо ознака вимірюється на рівнях  $i$  й  $j$  (поза рівня  $p$ , значеннями  $l_i$  і  $l_j$ ), відповідно наступними рівняннями:

$$\Delta L_p^{(ij)} = L_{\Pi ip} - L_{\text{В}pj} = n_{ip}l_p - n_{pj}l_p = (n_{ip} - n_{pj})l_p; \quad (1/1)$$

$$\Delta L_{ij}^{(p)} = L_{\Pi pj} - L_{\text{В}ip} = n_{pj}l_j - n_{ip}l_i, \quad (1/2)$$

де  $L_{\Pi ip}$  і  $L_{\text{В}pj}$  – значення ознаки, вимірюваної відповідно в  $n_{ip}$  і в  $n_{pj}$  одиниць об'єкта на рівні  $p$ , а  $L_{\Pi pj}$  і  $L_{\text{В}ip}$  – значення ознаки, вимірюваної відповідно в  $n_{pj}$  і в  $n_{ip}$  одиниць об'єкта поза рівня  $p$ , на рівнях  $j$  й  $i$ .

Величина  $\Delta L_p^{(ij)}$  ( $\Delta L_{ij}^{(p)}$ ) являє собою парний рівневий показник *агрегованого абсолютного сальдо міжрівневого пересування*, представленого в  $p$ -рівневих (поза  $p$ -рівневих) значеннях ознаки у взаємодії рівня  $p$  з рівнями  $i$  й  $j$ , інакше –  *$p$ -рівневе (поза  $p$ -рівневе) сальдо*. Сальдо є результатом міжрівневого заміщення одиниць об'єкта на рівні  $p$  (поза ним) та характеризує в агрегатній формі їх «чисте» пересування (різниця чисельності прибулих і вибулих), що мають місце через прибуття (вибуття) на рівень  $p$  з рівня  $i$   $n_{ip}$

одиниць та через вибуття (прибуття) з нього на рівень  $j$   $n_{pj}$  одиниць: регресивне навздогін (рис. 1, а,  $i > p > j$ ); прогресивне навздогін (рис. 1, б,  $i < p < j$ ); регресивно-прогресивне назустріч (рис. 2, а,  $i > p < j$ ); прогресивно-регресивне назустріч (рис. 2, б,  $i < p > j$ ).

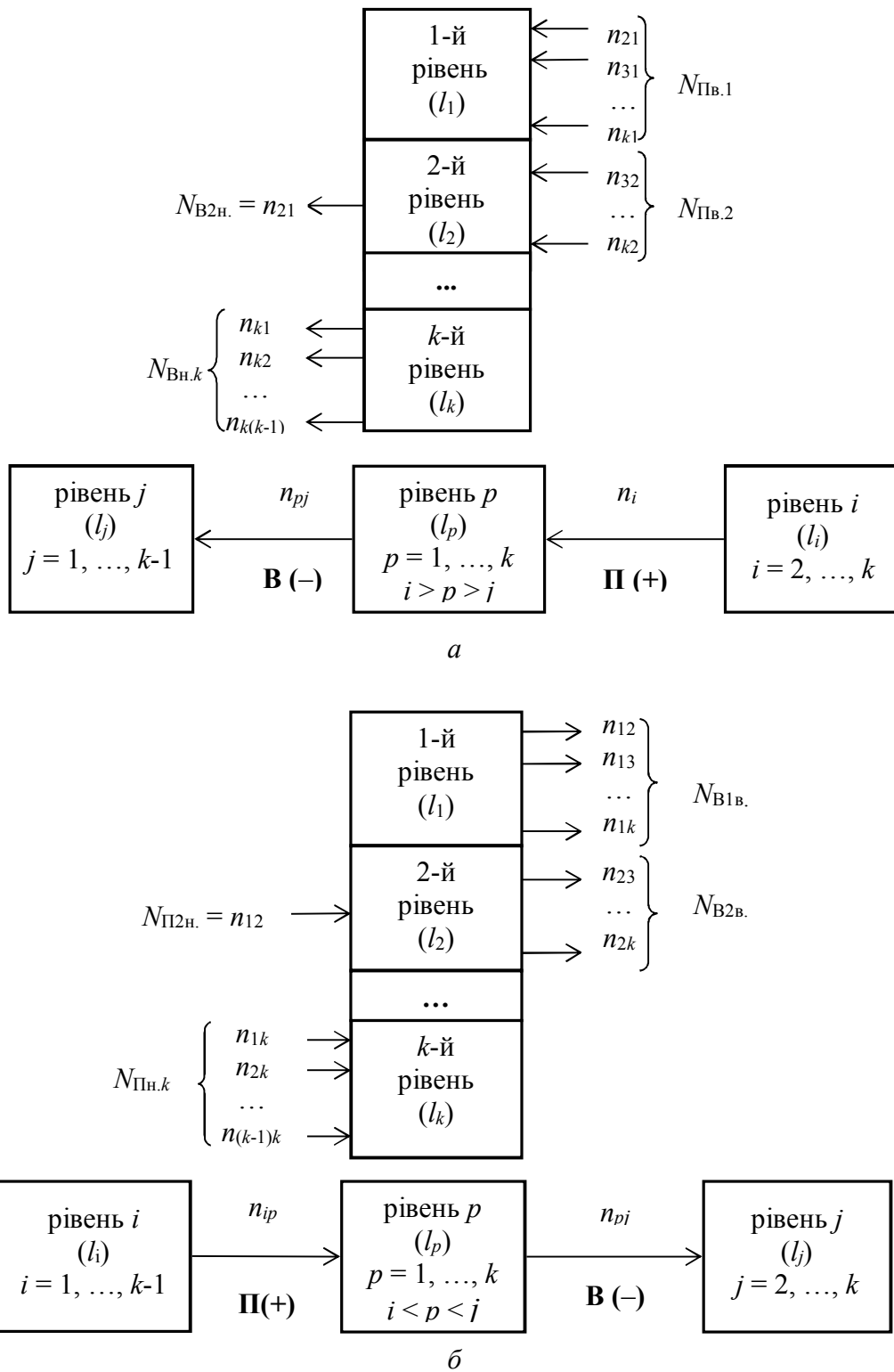


Рис. 1. Схема пересування: регресивного (а) і прогресивного (б) навздогін, представленого чисельністю одиниць об'єкта на його рівні «р»,  $n_{ip}$  прибутих («П») на нього з рівня «і» та  $n_{pj}$  вибутих («В») з нього на рівень «j»

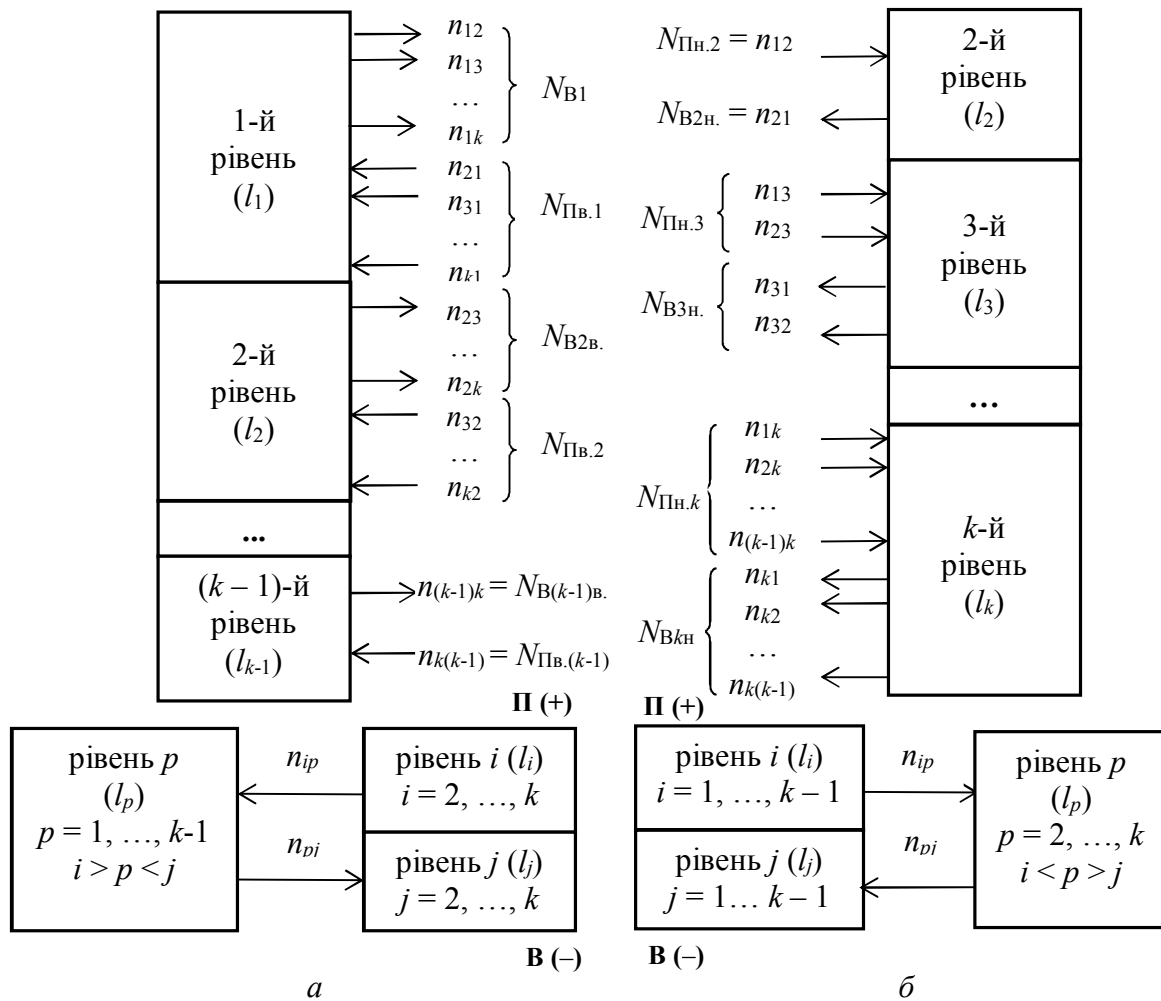


Рис. 2. Схема пересування: регресивно-прогресивного (а) і прогресивно-регресивного (б) назустріч, представленого чисельністю одиниць об'єкта на його рівні «р»,  $n_{ip}$  прибулих («П») на нього з рівня «і» та  $n_{pj}$  вибулих («В») з нього на рівень «j»

Таке міжрівневе заміщення призводить до рівневих втрат ( $n_{ip} < n_{pj}$ ,  $\Delta L_p^{(ij)} < 0$ ) або рівневого поповнення ( $n_{ip} > n_{pj}$ ,  $\Delta L_p^{(ij)} > 0$ ) і до позарівневих втрат ( $\Delta L_{ij}^{(p)} < 0$ ) або позарівневого поповнення ( $\Delta L_{ij}^{(p)} > 0$ ) об'єкта щодо ознаки, вимірюваної в  $n_{ip}$  і  $n_{pj}$  його одиниць на рівні  $p$  у станах «після» та «до» (рівневі зміни) та поза рівня  $p$ , на рівні  $i$  у стані «до» та на рівні  $j$  у стані «після», (позарівневі зміни) відповідно.

Отже, показник  $\Delta L_p^{(ij)}$  ( $\Delta L_{ij}^{(p)}$ ) інакше можна охарактеризувати як *рівневі (позарівневі) втрати або рівневе (позарівневе) поповнення* об'єкта щодо ознаки, вимірюваної на рівні  $p$  (поза нього) в  $n_{ip}$  і  $n_{pj}$  його одиниць, які зазнають пересування на рівні  $p$ .

Щоб подивитися на наслідки пересування через взаємодію рівня  $p$  з усіма іншими рівнями, представимо результат такої взаємодії у значеннях зведених агрегатів, спочатку в масштабах окремого рівня, а потім у масштабах об'єкта загалом, у тому числі з урахуванням напряму пересування одиниць останнього.

Суми  $\sum n_{pj}l_p$  і  $\sum i n_{ip}l_p$  значень ознаки, вимірюваної в  $n_{pj}$  і  $n_{ip}$  одиниць об'єкта на рівні  $p$ , такому що  $p \neq j$  та  $p \neq i$ , що представлено на рисунках з обох боків від цього рівня відповідними  $p$ -рівневими значеннями чисельності  $N_{Врв.}$  і  $N_{Пн.р}$  прогресивно ( $p > j$  та  $p > i$ ) або  $N_{Врн.}$  і  $N_{Пв.р}$  регресивно ( $p < j$  та  $p < i$ ) рухомих одиниць об'єкта, математично можна виразити такими рівняннями:

$$\begin{cases} L_{Врв.} = \sum_{j=p+1}^k L_{Врj} = \sum_{j=p+1}^k n_{pj} l_p = N_{Врв.} l_p, & (1) \\ L_{Врн.} = \sum_{j=1}^{p-1} L_{Врj} = \sum_{j=1}^{p-1} n_{pj} l_p = N_{Врн.} l_p, & (2) \\ L_{Пн.р} = \sum_{i=1}^{p-1} L_{Пip} = \sum_{i=1}^{p-1} n_{ip} l_p = N_{Пн.р} l_p, & (3) \\ L_{Пв.р} = \sum_{i=p+1}^k L_{Пip} = \sum_{i=p+1}^k n_{ip} l_p = N_{Пв.р} l_p. & (4) \end{cases} \quad (2/1)$$

Суми  $\sum i n_{ip}l_i$  і  $\sum n_{pj}l_j$  значень ознаки, вимірюваної в  $n_{ip}$  і  $n_{pj}$  одиниць об'єкта поза рівня  $p$ , такого що  $p \neq i$  та  $p \neq j$ , що представлено на рисунках з обох боків від цього рівня відповідними  $p$ -рівневими значеннями чисельності  $N_{Пн.р}$  і  $N_{Врв.}$  прогресивно ( $p > i$  та  $p > j$ ) або  $N_{Пв.р}$  і  $N_{Врн.}$  регресивно ( $p < i$  та  $p < j$ ) рухомих одиниць об'єкта, математично можна виразити такими рівняннями:

$$\begin{cases} L_{Вв.<p>} = \sum_{i=1}^{p-1} L_{Вip} = \sum_{i=1}^{p-1} n_{ip} l_i, & (1) \\ L_{Вн.<p>} = \sum_{i=p+1}^k L_{Вip} = \sum_{i=p+1}^k n_{ip} l_i, & (2) \\ L_{П<p>н.} = \sum_{j=p+1}^k L_{Пpj} = \sum_{j=p+1}^k n_{pj} l_j, & (3) \\ L_{П<p>в.} = \sum_{j=1}^{p-1} L_{Пpj} = \sum_{j=1}^{p-1} n_{pj} l_j. & (4) \end{cases} \quad (2/2)$$

Абсолютні рівневі балансові показники пересування одиниць об'єкта, виражені в  $p$ -рівневих і в поза  $p$ -рівневих значеннях ознаки через складові пересування за напрямом, представлені рівняннями систем (2/1) і (2/2), а також через значення сальдо міжрівневого пересування, представленого рівняннями (1/1) і (1/2), розмістимо в окремій таблиці.

Таблиця

Абсолютні рівневі показники сальдо міжрівневого пересування за напрямом (часткові)

Напрямок пересування	Формула	
	У $p$ -рівневих значеннях ознаки	У поза $p$ -рівневих значеннях ознаки
1	2	3
Прогресивно-регресивне назустріч	$\Delta L_{рн.} \Big _{p=2, \overline{k}} = L_{Пн.р} - L_{Врн.} =$ $= \begin{cases} \left( \sum_{i=1}^{p-1} \Delta L_p^{(ij)} \Big _{j < p} \right) & (1) \\ \left( \sum_{j=1}^{p-1} \Delta L_p^{(ij)} \Big _{i < p} \right) & (2) \end{cases} \quad (3/1)$	$\Delta L_{<p>н.} \Big _{p=1, \overline{k-1}} = L_{П<p>н.} - L_{Вн.<p>} =$ $= \begin{cases} \left( \sum_{i=p+1}^k \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{j > p} \right) & (1) \\ \left( \sum_{j=p+1}^k \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{i > p} \right) & (2) \end{cases} \quad (3/2)$
Регресивно-прогресивне назустріч	$\Delta L_{рв.} \Big _{p=1, \overline{k-1}} = L_{Пв.р} - L_{Врв.} =$ $= \begin{cases} \left( \sum_{i=p+1}^k \Delta L_p^{(ij)} \Big _{j > p} \right) & (1) \\ \left( \sum_{j=p+1}^k \Delta L_p^{(ij)} \Big _{i > p} \right) & (2) \end{cases} \quad (4/1)$	$\Delta L_{<p>в.} \Big _{p=2, \overline{k}} = L_{П<p>в.} - L_{Вв.<p>} =$ $= \begin{cases} \left( \sum_{i=1}^{p-1} \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{j < p} \right) & (1) \\ \left( \sum_{j=1}^{p-1} \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{i < p} \right) & (2) \end{cases} \quad (4/2)$
Прогресивне навздогін	$(5/1) \quad \Delta L_{рн.}^н = L_{Пн.р} - L_{Врв.} =$ $= \begin{cases} \left( \sum_{j=p+1}^k \Delta L_p^{(ij)} \Big _{i < p}, 1 \leq p < k \right) & (1) \\ \left( \sum_{i=1}^{p-1} \Delta L_p^{(ij)} \Big _{j > p}, 1 < p \leq k \right) & (2) \end{cases}$	$(5/2) \quad \Delta L_{<p>н.}^н = L_{П<p>н.} - L_{Вв.<p>} =$ $= \begin{cases} \left( \sum_{j=p+1}^k \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{i < p}, 1 \leq p < k \right) & (1) \\ \left( \sum_{i=1}^{p-1} \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{j > p}, 1 < p \leq k \right) & (2) \end{cases}$

Закінчення табл.

1	2	3
Регресивне навздогін	$(6/1) \quad \Delta L_{p \frac{B}{H}} = L_{ПВ.p} - L_{Врп.} =$ $= \begin{cases} \sum_{i=p+1}^k \Delta L_p^{(ij)} \Big _{j < p}, & 1 \leq p < k \quad (1) \\ \sum_{j=1}^{p-1} \Delta L_p^{(ij)} \Big _{i > p}, & 1 < p \leq k \quad (2) \end{cases}$	$(6/2) \quad \Delta L_{(p) \frac{B}{H}} = L_{П(p)В.} - L_{Вн.(p)} =$ $= \begin{cases} \sum_{i=p+1}^k \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{j < p}, & 1 \leq p < k \quad (1) \\ \sum_{j=1}^{p-1} \Delta L_{ij}^{(p)} \Big _{i > p}, & 1 < p \leq k \quad (2) \end{cases}$

Сукупні втрати або сукупне поповнення об'єкта, обумовлені пересуванням його одиниць у відповідному напрямі, визначаються у вигляді абсолютного групового сальдо через складові сукупного пересування за напрямом і через рівневе сальдо наступним чином:

$$\Delta L_{H.} = L_{Пн.} - L_{Вн.} = \begin{cases} \sum_{p=2}^k \Delta L_{pн.}, & (1) \\ \sum_{p=1}^{k-1} \Delta L_{(p)н.}; & (2) \end{cases} \quad (7)$$

$$\Delta L_{В.} = L_{Пв.} - L_{Вв.} = \begin{cases} \sum_{p=1}^{k-1} \Delta L_{pв.}, & (1) \\ \sum_{p=2}^k \Delta L_{(p)в.}; & (2) \end{cases} \quad (8)$$

$$\Delta L_{\frac{H}{В.}} = L_{Пн.} - L_{Вв.} = \begin{cases} \sum_{p=1}^k \Delta L_{пн./в.}, & (1) \\ \sum_{p=1}^k \Delta L_{(p)н./в.}; & (2) \end{cases} \quad (9)$$

$$\Delta L_{\frac{В.}{H.}} = L_{Пв.} - L_{Вн.} = \begin{cases} \sum_{p=1}^k \Delta L_{пв./н.}, & (1) \\ \sum_{p=1}^k \Delta L_{(p)в./н.}. & (2) \end{cases} \quad (10)$$

Щодо рівневого та групового сальдо сукупного пересування одиниць об'єкта, ці показники можна визначити так:

$$\Delta L_p = L_{Пp} - L_{Вp} = \begin{cases} \Delta L_{пн.} + \Delta L_{пв.}, & (1) \\ \Delta L_{пн./в.} + \Delta L_{пв./н.}; & (2) \end{cases} \quad (11/1)$$

$$\Delta L_{(p)} = L_{П(p)} - L_{В(p)} = \begin{cases} \Delta L_{(p)н.} + \Delta L_{(p)в.}, & (1) \\ \Delta L_{(p)н./в.} + \Delta L_{(p)в./н.}; & (2) \end{cases} \quad (11/2)$$

$$\Delta L = L_{П} - L_{В} = \begin{cases} \sum_{p=1}^k \Delta L_p = \Delta L_{H.} + \Delta L_{В.}, & (1) \\ \sum_{p=1}^k \Delta L_{(p)} = \Delta L_{H./В.} + \Delta L_{В./H.}. & (2) \end{cases} \quad (12)$$

Маємо зауважити, що абсолютні показники сальдо сукупного пересування одиниць об'єкта, рівневі ( $\Delta L_p = L_{p1} - L_{p0}$  або  $\Delta L_{(p)} = L_{(p)1} - L_{(p)0}$ ) і загальний ( $\Delta L = L_1 - L_0$ ), визначені як різниця значень ознаки, вимірюваної в цих одиниць у стані «після» в порівнянні зі станом «до», завжди дають той же самий результат, що й показники (11/1), (11/2) і (12) відповідно, а тому їх можна ототожнити та представити як рівневі(-е) та загальні(-е) втрати (поповнення) об'єкта. Це пояснюється рівністю сукупних значень ознаки, вимірюваної в нерухомих одиниць об'єкта (тих, які залишилися на рівні («З»), і тих, які не перейшли з рівня («Н»)) в обох його станах:  $L_{p1} = L_{Пp} + L_{Зp}$ ,  $L_{(p)1} = L_{П(p)} + L_{Зp}$ ,  $L_1 = L_{П} + L_{З}$  і  $L_{p0} = L_{Вp} + L_{Нp}$ ,  $L_{(p)0} = L_{В(p)} + L_{Нp}$ ,  $L_0 = L_{В} + L_{Н}$ ;  $L_{Зp} = L_{Нp}$ ,  $L_{З} = L_{Н} \Rightarrow L_{p1} - L_{p0} = L_{Пp} - L_{Вp}$ ,  $L_{(p)1} - L_{(p)0} = L_{П(p)} - L_{В(p)}$ ,  $L_1 - L_0 = L_{П} - L_{В}$ .

Якщо у виразах (1/1) і (1/2) знак « $\leftarrow$ » замінити на знак « $\rightarrow$ », то результат додавання агрегатів, що представляють  $p$ -рівневі та поза  $p$ -рівневі значення ознаки, можна сформулювати як **міжрівневий оборот** одиниць об'єкта. На відміну від міжрівневого сальдо, яке характеризує «чисте» пересування одиниць об'єкта на тому чи іншому рівні або поза ним, міжрівневий оборот представляє їх «валове» пересування (спільна чисельність прибулих і вибулих).

Щоб отримати абсолютні показники обороту, аналогічні показникам сальдо, сформованим вище, в рівняннях (3)-(12) знак « $\leftrightarrow$ » маємо замінити на знак « $\rightarrow$ », а символ « $\Delta$ » – на символ « $\Sigma$ ». Тоді замість поняття «сальдо», що було представлено цими виразами, доречним у новостворених конструкціях стає поняття «оборот» (формули в силу повторювання їх складових не наводяться). На відміну від сальдо об'єкта, у визначенні обороту його одиниць беруть участь лише складові пересування.

Як видно з рівнянь, сформованих вище, втрати або поповнення об'єкта (оборот його одиниць), як наслідок міжрівневого заміщення його одиниць, можна виразити через парний показник сальдо (обороту), представлений або в рівневих, або в позарівневих значеннях ознаки, вимірюваної в цих одиниць в шкалі відношень. Це дає підстави вважати міжрівневе заміщення канонічною формою міжрівневого балансу.

Оскільки абсолютні показники сальдо (обороту) представляють чисте (валове) пересування одиниць об'єкта на різних рівнях їх систематизації, від парних показників до загальних, і, як було показано вище, вони закономірно пов'язані між собою, то співвідносячи їх в тій чи іншій комбінації відповідно до правил, сформульованих раніше, можна сформулювати категорію відносних балансових показників пересування, поділивши їх таким чином: за критерієм «призначення» – на коефіцієнти рівневого приросту, коефіцієнти рівневого обороту, відносне сальдо пересування і коефіцієнт ефективності пересування; за критерієм «ступінь агрегування» – на парні, частинні та часткові; за критерієм «межі руху» – на рівневі, групові (загальні). Їх формулювання – предмет подальшого дослідження.

Отже, з наведених співвідношень видно, що будь-який балансовий показник може бути визначений через складові міжрівневого сальдо (обороту), яке (який) є універсальним показником міжрівневого заміщення, що підтверджує висновок, зроблений раніше стосовно канонічної форми останнього в міжрівневому балансі, узагальнене співвідношення якого, виражене в агрегатній формі, має наступний вигляд:

$$\Delta L = \begin{cases} \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k n_{ij} l_j - \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} l_i, & (1) \\ \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k n_{ij} l_j - \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^k n_{ij} l_i. & (2) \end{cases} \quad (13)$$

Воно характеризує величину на яку змінюється спільне значення ознаки, вимірюваної в  $N$  одиниць об'єкта, при переході останнього зі стану «до» у стан «після» та пояснюється структурою руху цих одиниць, представленою в рівневих (вираз (1)) або в позарівневих (вираз (2)) значеннях ознаки. Інакше – це агреговане абсолютне сальдо об'єкта, що характеризує загальні втрати або поповнення останнього.

**Висновки відповідно до статті.** Балансовий метод аналізу результатів керуючого впливу на структурований об'єкт дозволяє повною мірою оцінити «міжрівневий рух» його одиниць, яким пояснюється зміна структури об'єкта щодо ознаки, вимірюваної в цих одиниць в шкалі відношень. Запропоноване поняття «міжрівневе заміщення», сформульоване у вигляді показників сальдо міжрівневого пересування й обороту рухомих одиниць об'єкта як канонічна форма міжрівневого балансу, дозволяє сформулювати систему балансових показників пересування, які забезпечують всебічну оцінку наслідків керуючого впливу на об'єкт. Наступним кроком такої оцінки має стати створення процедури регулювання втратами (поповненням) об'єкта й оцінки її ефективності.

#### Список використаних джерел

1. Терехов Л. Л. Экономико-математические методы / Л. Л. Терехов. – М. : Статистика, 1968. – 360 с.

## References

1. Terekhov, L. L. (1968). *Ekonomiko-matematicheskie metody [Economic and mathematical methods]*. Moscow: Statistika [in Russian].

UDC 311+512

Alexander Dubyagin

### INTER-LEVEL SUBSTITUTION – THE CANONICAL FORM OF THE INTER-LEVEL BALANCE

**Urgency of the research.** Inter-level substitution is the basis for the formation in the aggregate form of a model and system of indices of the inter-level balance, and the latter comprehensively assess the consequences of the control effect on the structured object and the effectiveness of the impact itself.

**Target setting.** Existing evaluation methods do not take into account the factor of movement of object units from one level of the characteristic to another, which is why the structural analysis of the results of the impact is incomplete.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Inter-level substitution is a new concept. Earlier, the author proposed a model and a system of indices of inter-level balance, constructed only in the values of the number of object units at the level.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The model of inter-level balance and a system of balance indicators, presented in aggregate form.

**The research objective.** Formalization of the concept of “inter-level substitution” as a canonical form of the inter-level balance in the form of paired indicators of aggregated absolute balance of inter-level movement and inter-level turnover of units of a structured object.

**The statement of basic materials.** The inter-level substitution of object units leads to level (extra-level) losses or to a level (extra-level) replenishment of the object based on the characteristic measured in these units in the relationship scale at a certain level (outside the level) in the “after” and “before” conditions of external impact. The overall result of the latter can be analytically represented as a generalized balance ratio. In the aggregate form, it is determined through the elementary components of the balance, which are the number of displacements and the level values of the characteristic.

**Conclusions.** The mathematical form of the inter-level substitution is the key in the formation of the inter-level balance model and the system of balance indicators of movement.

**Keywords:** inter-level substitution; inter-level balance; model; turnover; balance; structured object.

Table: 1. Fig.: 2. References: 1.

УДК 311+512

Александр Дубягин

### МЕЖУРОВНЕВОЕ ЗАМЕЩЕНИЕ – КАНОНИЧЕСКАЯ ФОРМА МЕЖУРОВНЕВОГО БАЛАНСА

**Актуальность темы исследования.** Межуровневое замещение является основой для формирования в агрегатной форме модели и системы показателей межуровневого баланса, а последними всесторонне оцениваются последствия управляющего воздействия на структурированный объект и эффективность самого воздействия.

**Постановка проблемы.** Существующие методики оценки не учитывают фактор передвижения единиц объекта с одного уровня признака на другой, из-за чего структурный анализ результатов воздействия является неполным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Межуровневое замещение является новым понятием. Ранее автором были предложены модель и система показателей межуровневого баланса, построенные только в значениях уровневой численности единиц объекта.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Модель межуровневого баланса и система показателей баланса, представленные в агрегатной форме.

**Постановка задачи.** Формализация понятия «межуровневое замещение» как канонической формы межуровневого баланса в виде парных показателей агрегированного абсолютного сальдо межуровневого передвижения и межуровневого оборота единиц структурированного объекта.

**Изложение основного материала.** Межуровневое замещение единиц объекта приводит к уровневым (внеуровневым) потерям или к уровневому (внеуровневому) пополнению объекта по признаку, измеряемому у этих единиц в шкале отношений на определенном уровне (вне уровня) в состояниях «после» и «до» внешнего воздействия. Общий результат последнего аналитически можно представить обобщенным соотношением баланса. В агрегатной форме оно определяется через элементарные составляющие баланса, каковыми являются численность перемещений и уровневые значения признака.

**Выводы соответствия со статьей.** Математическая форма межуровневого замещения является ключевой в формировании модели межуровневого баланса и системы балансовых показателей передвижения.

**Ключевые слова:** межуровневое замещение; межуровневый баланс; модель; оборот; сальдо; структурированный объект.

Табл.: 1. Рис.: 2. Библ.: 1.



**Дубягін Олександр Борисович** – кандидат технічних наук, доцент, м. Чернігів, Україна.  
**Дубягин Александр Борисович** – кандидат технических наук, доцент, г. Чернигов, Украина.  
**Dubyagin Alexander** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv, Ukraine.  
**E-mail:** [aleksandrdubagin@gmail.com](mailto:aleksandrdubagin@gmail.com)  
**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9512-242X>  
**ResearcherID:** G-9774-2014

Олег Деркач

## НЕСТАЦІОНАРНІ ДЕМПФІРУВАНІ КОЛИВАННЯ СПОРУДИ З УРАХУВАННЯМ ВЗАЄМОДІЇ З ОСНОВОЮ

*Актуальність теми дослідження.* Здатність конструкцій чинити опір дії нестационарних навантажень, зокрема сейсмічних, є визначальним фактором їх надійності.

*Постановка проблеми.* Задача визначення динамічної реакції елементів споруд пов'язана з необхідністю урахування розсіювання енергії в матеріалі споруди та її взаємодії з ґрунтовою дисипативною основою.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* З опублікованих даних експериментальних досліджень динамічної поведінки матеріалів основи та споруди видно, що вони мають частотно-залежні пружні та дисипативні властивості. У публікаціях показано, що за певних умов концепція частотно-залежного комплексного модуля добре описує поведінку матеріалів основи і споруди.

*Виділення не досліджених частин загальної проблеми.* Недослідженим залишається питання безпосереднього використання частотно-залежних властивостей матеріалів основи в розрахунках нестационарних коливань споруд, які взаємодіють з основою.

*Постановка завдання.* Завдання цієї роботи полягає в розробці методики врахування реальних даних про динамічну поведінку матеріалів споруди та основи при розрахунках нестационарних коливань споруди з урахуванням взаємодії з основою.

*Виклад основного матеріалу.* За допомогою методики скінченно-елементного моделювання у частотному просторі інтегральних перетворень Фур'є побудовано математичну модель системи, яка складається зі споруди та основи. У частотному просторі розраховано реакцію системи на дію сейсмічного навантаження. Перехід до часового простору здійснено на останньому кроці розрахунків за допомогою оберненого швидкого перетворення Фур'є.

*Висновки відповідно до статті.* Розглянута методика скінченно-елементного моделювання у частотному просторі інтегральних перетворень Фур'є дозволяє врахувати реальні пружні та дисипативні властивості матеріалів споруди та основи при розрахунках нестационарних коливань споруди, що взаємодіє з дисипативною основою, при дії навантаження довільного спектрального складу.

*Ключові слова:* нестационарні коливання; метод скінченних елементів; взаємодія споруди з основою; розсіювання енергії; перетворення Фур'є.

Рис.: 4. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження та постановка проблеми.** Здатність конструкцій опиратися дії нестационарних навантажень, таких як сейсмічні, є визначальним фактором їх надійності. Задача визначення динамічної реакції елементів конструкцій пов'язана з необхідністю урахування розсіювання енергії в матеріалі споруди та її взаємодії з ґрунтовою основою. Таким чином, актуальною є проблема врахування реальних фізичних властивостей матеріалів споруд та основ при розрахунках реакції споруд на дію навантаження довільного спектрального складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Задачі розрахунку динаміки споруд з урахуванням взаємодії з основою розглядалися у багатьох роботах, зокрема [1-3]. У роботі [3] описано методику скінченно-елементного моделювання коливань споруди при дії сейсмічного навантаження з урахуванням пружно-дисипативної взаємодії з основою. Метод скінченних елементів дозволяє моделювати споруди будь-якої складності, а основу розглядати як масив. У ранніх роботах стосовно розрахунку динамічного відгуку споруди з урахуванням пружної взаємодії з основою, наприклад [4], споруда та основа ідеалізувалися одновимірними тілами.

У роботі [5] експериментально досліджено вплив основи на динамічний відгук споруди. Показано, що врахування розсіювання енергії в матеріалі основи є суттєвим фактором, який впливає на результат розрахунку динамічного відгуку споруди.

Методики експериментального визначення пружних і дисипативних властивостей матеріалів основ розглядаються в роботах [6; 7]. Виявляється, що за певних умов [6] модель лінійного спадкового середовища добре описує пружні й дисипативні властивості основ. Як відомо, перевагою моделі лінійного в'язкопружного тіла в розрахунках динаміки споруд і основ є те, що пружні та дисипативні властивості матеріалів споруди й основи описуються за допомогою комплексного модуля пружності. Проте частотно-незалежні комплексні сталі матеріалу адекватно описують пружні й дисипативні влас-

тивості матеріалу лише при одночастотних режимах коливань, що не дозволяє розглянути відгук споруди у широкому спектрі частот, наприклад при сейсмічних навантаженнях. Запропонована у роботах [8, 9] методика скінченно-елементного моделювання у частотному просторі інтегральних перетворень Фур'є позбавлена цього недоліку. Показано, що аналіз нестационарних коливань з урахуванням розсіювання енергії в матеріалі може бути проведено тільки у частотному просторі. При цьому пружні й дисипативні властивості матеріалу описуються частотно-залежними комплексними модулями пружності в заданому діапазоні частот, що дозволяє застосувати концепцію частотно-залежного комплексного модуля до розрахунку нестационарних коливань елементів конструкції довільної складності при навантаженні довільного спектрального складу.

**Постановка завдання.** Завданням цієї роботи є застосування методики скінченно-елементного моделювання у частотному просторі інтегральних перетворень Фур'є до розрахунку реакції споруди на дію сейсмічного кінематичного навантаження з урахуванням пружної і дисипативної взаємодії з основою. Мета цієї роботи – визначити реакцію споруди на дію сейсмічного навантаження, прикладеного до основи, з урахуванням розсіювання енергії в матеріалах споруди та основи.

**Виклад основного матеріалу.** Математична модель системи (рис. 1, а) складається з двох підконструкцій: 1) скінченно-елементної моделі споруди з фундаментом (рис. 1, б), яка поділена на 80 стержневих скінченних елементів; 2) моделі ґрунтової основи з 16 скінченних елементів (рис. 1, в). Матриці жорсткості стержневого скінченного елемента, який працює на згин, розтяг-стиск і кручення наведено у роботі [10, с. 61].

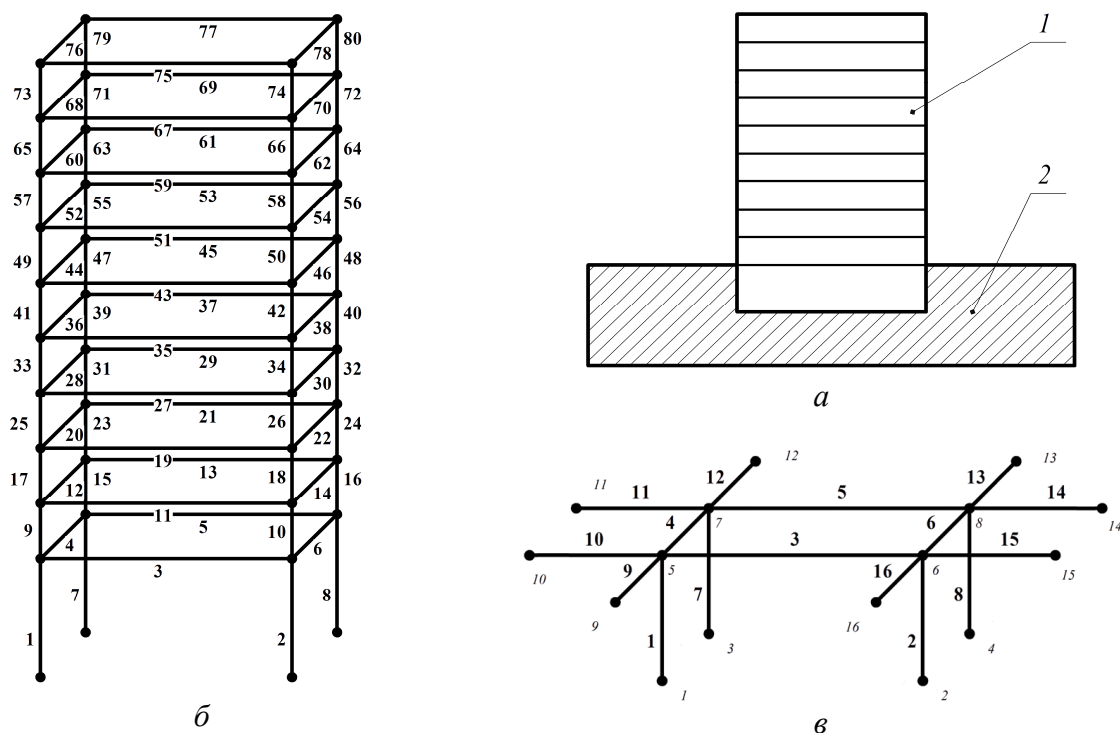


Рис. 1. Модель системи, яка складається зі споруди 1 та основи 2 (а); скінченно-елементні моделі споруди (б) та основи (в) з нумерацією елементів

Визначимо реакцію споруди на дію сейсмічного навантаження з урахуванням взаємодії з основою.

Для отримання розрахункових рівнянь системи застосовано методику скінченно-елементного моделювання в просторі інтегральних перетворень Фур'є [8; 9]. Динамічні

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

властивості матеріалів споруди й основи враховано за допомогою частотно-залежних комплексних модулів пружності [6; 7].

Скінченно-елементні рівняння динаміки системи у частотному просторі мають вигляд:

$$\begin{bmatrix} \hat{K}^{(11)}(\omega) - \omega^2 M^{(11)} & \hat{K}^{(12)}(\omega) \\ \hat{K}^{(21)}(\omega) & \hat{K}^{(22)}(\omega) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{q}^{(1)}(\omega) \\ \hat{q}^{(2)}(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \hat{F}^{(2)}(\omega) \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $\hat{K}^{(11)}(\omega)$ ,  $\hat{K}^{(22)}(\omega)$  – частотно-залежні комплексні матриці жорсткості споруди та основи відповідно;  $\hat{K}^{(12)} = (\hat{K}^{(21)})^T$  – матриці зв'язку споруди з основою і навпаки;  $M^{(11)}$  – матриця мас споруди;  $\hat{q}^{(1)}(\omega)$ ,  $\hat{q}^{(2)}(\omega)$  – вектори вузлових переміщень споруди та основи;  $\hat{F}^{(2)}(\omega)$  – зображення Фур'є вектора вхідного кінематичного сейсмічного навантаження, яке діє на основу;  $\omega$  – колова частота.

Синтез скінченно-елементної моделі системи проводиться шляхом прирівнювання частотних зображень вузлових переміщень конструкції до відповідних зображень вузлових переміщень основи:  $\hat{q}_{1..4}^{(1)} = \hat{q}_{1..4}^{(2)}$ ,  $\hat{q}_{5..8}^{(1)} = \hat{q}_{5..8}^{(2)}$  (рис. 1, б, в). Кінематичне навантаження прикладається до вузлів  $\hat{q}_{1..4}^{(2)}$ , та  $\hat{q}_{9..16}^{(2)}$  (рис. 1, в).

Із системи (1) визначається вектор частотних зображень вузлових переміщень основи:

$$\hat{q}^{(2)} = -(\hat{K}^{(22)})^{-1} \hat{K}^{(21)} \hat{q}^{(1)} + (\hat{K}^{(22)})^{-1} \hat{F}^{(2)}. \quad (2)$$

Після підстановки рівняння (2) у перше рівняння системи (1) отримаємо частотне зображення вектора вузлових переміщень споруди з урахуванням взаємодії з основою:

$$\hat{q}^{(1)} = -(\hat{Z}(i\omega))^{-1} \hat{K}^{(12)} (\hat{K}^{(22)})^{-1} \hat{F}^{(2)}, \quad (3)$$

де матриця динамічної жорсткості споруди з урахуванням взаємодії з основою має вигляд:

$$\hat{Z}(i\omega) = \hat{K}^{(11)} - \hat{K}^{(12)} (\hat{K}^{(22)})^{-1} \hat{K}^{(21)} - \omega^2 M^{(11)}. \quad (4)$$

Перехід до часового простору здійснюється за допомогою алгоритму швидкого оберненого перетворення Фур'є, застосованого до вектора вузлових переміщень споруди (3):

$$q^{(1)}(t) = IFFT[\hat{q}^{(1)}(\omega)]. \quad (5)$$

Як відомо, у системі з частотно-залежним розсіюванням енергії задача визначення власних значень є нелінійною, тому для знаходження власних форм і частот коливань у роботі [9] застосовано метод стиснутих відображень у формі методу простої ітерації.

Власні форми коливань споруди показано на рис. 2.

У розрахунках були прийняті такі параметри конструкції та основи: комплексний модуль пружності матеріалу конструкції  $E^{(1)} = 2,0 \cdot 10^5 \cdot (1 + i \cdot 10^{-4})$  МПа та комплексний модуль зсуву  $G^{(1)} = 8,0 \cdot 10^4 \cdot (1 + i \cdot 2,0 \cdot 10^{-4})$  МПа; осьові моменти інерції поперечних перерізів стержневих скінченних елементів:  $J_z = 1,52 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$ ,  $J_y = 1,13 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$ ; площа поперечного перерізу  $A = 2,34 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ; висота частини споруди над основою 45 м, висота під основою – 15 м; розміри по периметру споруди: довжина 30 м, ширина 10 м. Механічні властивості матеріалу основи:  $E^{(2)} = 2,0 \cdot 10^3 + i \cdot 1,9$  ГПа,  $G^{(2)} = 80,0 + i \cdot 79,0$  ГПа.

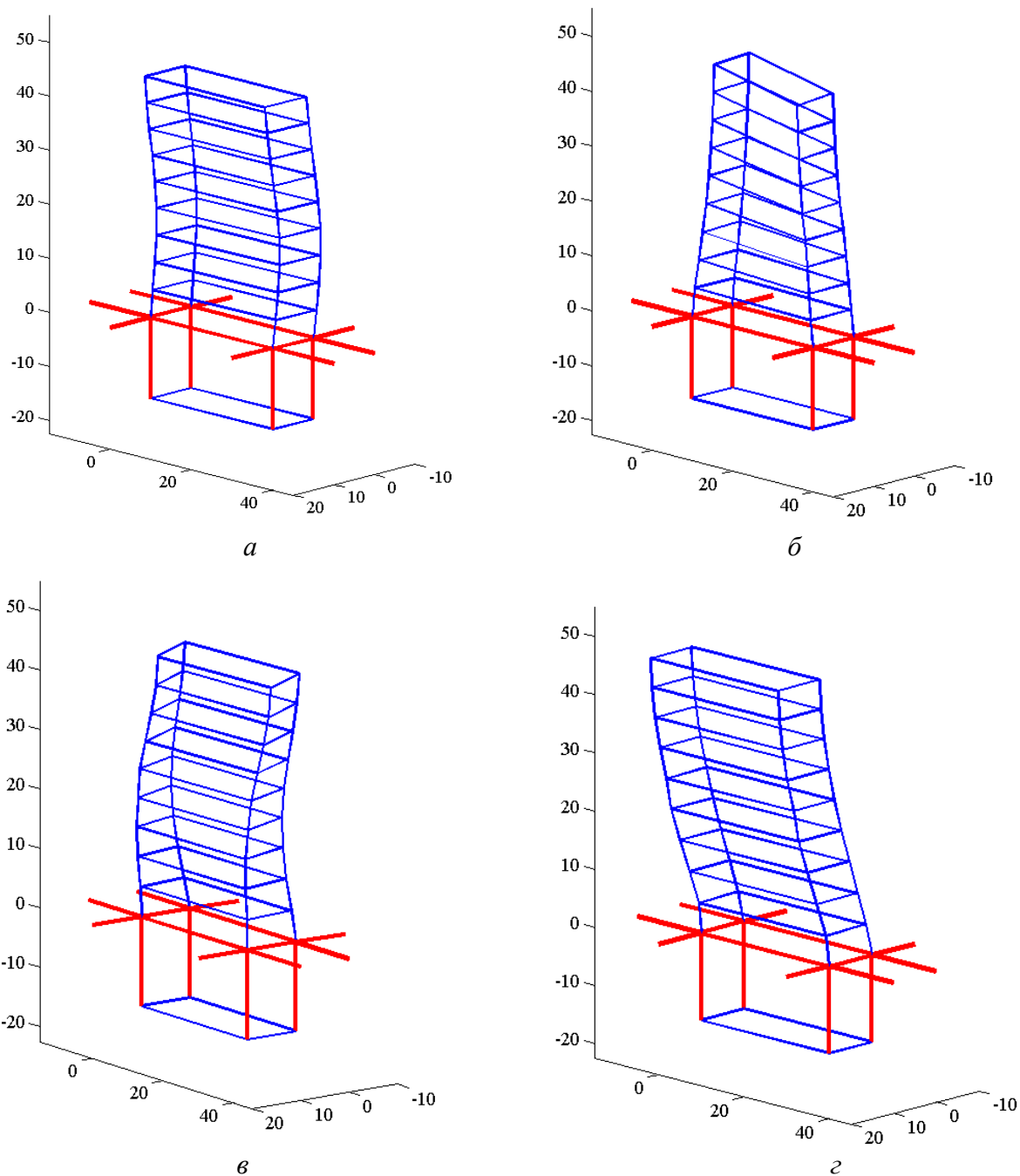


Рис. 2. Власні форми коливань споруди на відповідних частотах з урахуванням взаємодії з основою:  
а – 0,83 Гц; б – 1,40 Гц; в – 2,11 Гц; г – 8,74 Гц

Результати розрахунку реакції конструкції на дію сейсмічного навантаження наведено на рис. 3.

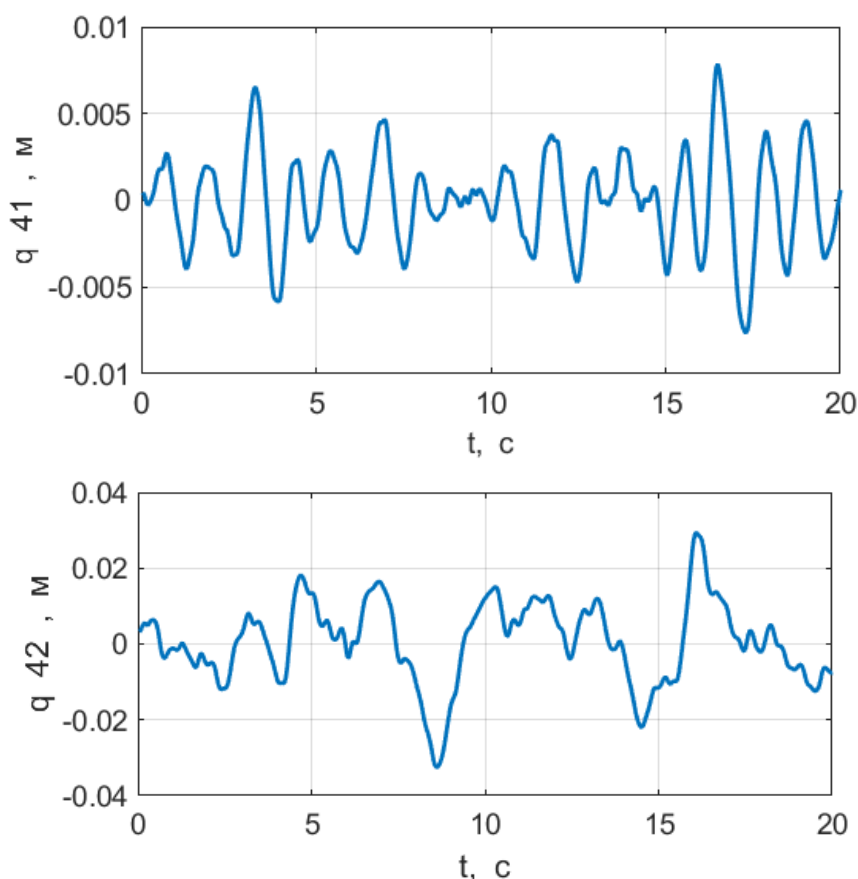


Рис. 3. Коливання споруди у горизонтальній площині при дії сейсмічного навантаження з урахуванням її взаємодії з дисипативною основою

Таким чином, методика скінченно-елементного моделювання в просторі інтегральних перетворень Фур'є застосовано для розрахунку нестационарних коливань дисипативної споруди з урахуванням взаємодії з основою.

**Висновки відповідно до статті.** На прикладі простої споруди розглянуто задачу розрахунку нестационарних коливань від дії кінематичного навантаження довільного спектрального складу, яке моделює сейсмічне навантаження, з урахуванням пружно-дисипативної взаємодії споруди з основою. Слід зазначити, що одним із визначальних чинників в достовірності отриманих результатів є коректність експериментально визначених комплексних модулів матеріалу основи і конструкції. Розглянута методика може бути узагальнена на більш складну математичну модель основи і споруди.

#### Список використаних джерел

1. Тяпин А. Г. Расчет сооружений на сейсмические воздействия с учетом взаимодействия с грунтовым основанием / А. Г. Тяпин. – М.: Изд-во АСВ, 2013. – 389 с.
2. Wolf J. P. Dynamic soil-structure interaction / J. P. Wolf. – Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1985. – 466 p.
3. Gutierrez J. A. A substructure method for earthquake analysis of structures including structure-soil interaction / J. A. Gutierrez, A. K. Chopra // Earthquake Engineering and Structural Dynamics. – 1978. – Vol. 6. – P. 51–69.
4. Parmelee R. A. Seismic response of multiple-story structures on flexible foundations / Parmelee R. A., Perelman D. S., Lee S. L. // Bull. Seism. Soc. Am. – 1969. – Vol. 59. – P. 1061–1070.
5. Zhang Z. Experimental study on damping characteristics of soil-structure interaction system based on shaking table test / Z. Zhang, H. Hongyang, X. Qin // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2017. – Vol. 98. – P. 183–190.

6. Lin M.-L. Characterization of material damping in soil / M.-L. Lin, S.-H. Ni, S. G. Wright, K. H. Stokoe // Proceedings of Ninth World Conference on Earthquake Engineering, August 2-9, 1988. –Tokyo-Kyotom, Japan. – P. 5–10.

7. Moayerian S. Effect of loading frequency on dynamic properties of solid using resonant column. – A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Civil Engineering, Waterloo, Ontario, Canada, 2012. – 112 p.

8. Дубенец В. Г. Пассивное демпфирование композитных конструкций / В. Г. Дубенец, В. В. Хильчевский. – К. : Вища шк., 1995. – 226 с.

9. Савченко Е. В. Пассивное демпфирование колебаний композитных конструкций: монография / Е. В. Савченко. – Нежин : Аспект-Поліграф, 2006. – 232 с.

10. Постнов В. А. Метод конечных элементов в расчетах судовых конструкций / В. А. Постнов, И. Я. Хархурим. – Л. : Судостроение, 1974. – 344 с.

### References

1. Tiapin, A. G. (2013). *Raschet sooruzhenii na seismicheskie vozdeistviia s uchetom vzaimodeistviia s gruntovym osnovaniem [Calculation of structures for seismic loads including soil-structure interaction]*. Moscow: ASV [in Russian].

2. Wolf, J. P. (1985). *Dynamic soil-structure interaction*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs [in English].

3. Gutierrez, J. A., Chopra, A. K. (1978). A substructure method for earthquake analysis of structures including structure-soil interaction. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 6, 51–69 [in English].

4. Parmelee, R. A., Perelman, D. S., Lee, S. L. (1969). Seismic response of multiple-story structures on flexible foundations. *Bull. Seism. Soc. Am*, 59, 1061–1070 [in English].

5. Zhang, Z., Hongyang, H., Qin, X. (2017). Experimental study on damping characteristics of soil-structure interaction system based on shaking table test. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 98, 183–190 [in English].

6. Lin, M.-L., Ni, S.-H., Wright, S. G., Stokoe, K. H. (1988). *Characterization of material damping in soil*, 9-th World Conference on Earthquake Engineering, August 2-9, 1988. Tokyo-Kyotom, Japan.

7. Moayerian, S. (2012). *Effect of loading frequency on dynamic properties of solid using resonant column*. (Master's thesis). University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada [in English].

8. Dubenets, V. G., Khilchevskiy, V. V. (1995). *Kolebaniia dempfirovannykh kompozitnykh konstruktсий [Vibrations of damped composite structures]*. Kiev: Vishcha shkola [in Russian].

9. Savchenko, E. V. (2006). *Passivnoe dempfirovanie kolebanii kompozitnykh konstrukticii [Passive damping of oscillations of composite structures]*. Nezhin: Aspekt-Polihraf [in Russian].

10. Postnov, V. A., Kharkhurim, I. Ya. (1974). *Metod konechnykh elementov v raschetakh sudovykh konstrukticii [Finite element method in design of ship structures]*. Leningrad: Sudostroenie [in Russian].

UDC 539.3:534.1

Oleh Derkach

## DAMPED NON-STATIONARY OSCILLATIONS OF A STRUCTURE INCLUDING STRUCTURE-SOIL INTERACTION

**Urgency of the research.** The ability to resist to the non-stationary loading is the constitutive factor of the structures subjected to the non-stationary loadings.

**Target setting.** The dynamic response analysis is requiring taking into account energy dissipation in materials of structure and soil foundation.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The existing papers provide that structure's and soil's materials have frequency-dependent elastic and dissipative properties. There are have been shown that frequency-dependent complex modulus can be successfully applied to modeling of dynamic properties of structure's and soil's materials under certain conditions.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The question of the direct use of frequency-dependent material properties of structures and soil in calculations of non-stationary oscillations of structures including structure-soil interaction is uninvestigated.

**The research objective** is to develop a method for taking into account the actual material data of the structure and soil foundation when the dynamic response to the seismic load including structure-soil interaction are considered.

**The statement of basic materials.** Finite element model of the system which consists a structure and soil foundation are built in the frequency domain. The earthquake response of the structure was calculated. The return to the time space is done only at the last step of calculations.

**Conclusions.** The finite element analysis in Fourier transform space allows to take into account real elastic and dissipative properties of structure's and soil's materials when the non-stationary response of a structure and dissipative soil subjected to the loading with arbitrary spectral composition including soil-structure interaction are considered.

**Keywords:** non-stationary vibrations; finite element method; foundation soil-structure interaction; energy dissipation; Fourier transformation.

Fig.: 3. References: 10.

УДК 539.3:534.1

Олег Деркач

## НЕСТАЦИОНАРНЫЕ ДЕМПФИРОВАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ СООРУЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ОСНОВАНИЕМ

**Актуальность темы исследования.** Способность конструкций сопротивляться действию нестационарных нагрузок, в частности сейсмических, является определяющим фактором при оценке их надежности.

**Постановка проблемы.** Задача определения динамического отклика элементов сооружений связана с необходимостью учета рассеяния энергии в материале сооружения, а также учета взаимодействия сооружения с грунтовым диссипативным основанием.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Из опубликованных данных экспериментальных исследований динамического поведения материалов оснований и сооружений видно, что они обладают частотно-зависимыми упругими и диссипативными свойствами. В публикациях показано, что при определенных условиях концепция частотно-зависимого комплексного модуля упругости хорошо подходит для моделирования динамического поведения материалов сооружения и основания.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Неисследованным является вопрос непосредственного использования частотно-зависимых свойств материалов основания в расчетах нестационарных колебаний сооружений, взаимодействующих с основанием.

**Постановка задачи.** Задача данной работы состоит в разработке методики учета реальных данных об упругих и диссипативных свойствах материалов сооружения и основания при расчете динамического отклика на сейсмическую нагрузку сооружения, взаимодействующего с основанием.

**Изложение основного материала.** При помощи методики конечно-элементного моделирования в частотном пространстве интегральных преобразований Фурье построена математическая модель системы, состоящая из сооружения и основания. В частотном пространстве определена динамическая реакция системы на действие сейсмической нагрузки. Переход во временное пространство осуществлен на последнем этапе расчета при помощи алгоритма обратного быстрого преобразования Фурье.

**Выводы в соответствии со статьей.** Рассмотренный метод конечно-элементного моделирования в частотном пространстве интегральных преобразований Фурье позволяет учесть реальные упругие и диссипативные свойства материалов сооружения и основания при расчете нестационарных колебаний сооружения, взаимодействующего с диссипативным основанием, под действием нагрузки произвольного спектрального состава.

**Ключевые слова:** нестационарные колебания, метод конечных элементов; взаимодействие сооружения с основанием; рассеяние энергии; преобразование Фурье.

Рис.: 3. Библ.: 10.

**Деркач Олег Леонидович** – ассистент кафедры зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Деркач Олег Леонидович** – ассистент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Derkach Oleh** – Assistant Lecturer of Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** H-2074-2014



## РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ

# МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-25-31

Володимир Кальченко, Володимир Венжега,  
Олександр Литвин, Дмитро Кальченко

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ ТОРЦІВ РІЗНОГО ДІАМЕТРА ШТОВХАЧІВ З КАЛІБРУЮЧИМИ ДІЛЯНКАМИ ТА БЕЗ НИХ

*Актуальність теми дослідження.* Забезпечення високої продуктивності та точності обробки торцевих поверхонь різного діаметра потребує розробки нових, високоефективних методів та способів обробки.

*Постановка проблеми.* У сучасних умовах розвитку на автомобілебудівних та машинобудівних заводах отримання високоточних торцевих поверхонь деталей пов'язане з високими вимогами до точності та продуктивності шліфування із застосуванням технологій сучасної механічної обробки, які мають високі вимоги щодо точності та якості оброблюваних торцевих поверхонь та повинні мати великий ресурс експлуатації.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Шліфування торцевих поверхонь деталей з різними діаметрами торців здійснюється на двосторонніх торцешліфувальних верстатах. Шліфування та інші фінішні операції являють собою складні процеси.

Відомий спосіб одночасного шліфування стержневидних деталей. Недоліком способу є те, що шліфувальні круги не мають калібруючих ділянок.

Відомий спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей. Недоліком способу є те, що не розглядається обробка деталей з різними діаметрами торців.

*Виділення не досліджених частин загальної проблеми.* Потрібно здійснити підвищення ефективності обробки деталей завдяки вдосконаленню способів двостороннього шліфування торців штовхачів з різними діаметрами орієнтованими профільованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них, за рахунок урівноваження сил різання, а також обертання оброблюваної деталі на калібруючій ділянці.

*Постановка завдання.* Представлено спосіб двостороннього шліфування торців різного діаметра орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них, що забезпечує підвищення точності та продуктивності обробки деталей.

*Виклад основного матеріалу.* Підвищення точності обробки торцевих поверхонь деталей різних діаметрів шліфувальними кругами, досягається завдяки тому, що формоутворення торця меншого діаметра виконується максимальним діаметром плоского торця одного круга, а формоутворення торця більшого діаметра – калібруючою ділянкою другого круга, довжина якої дорівнює діаметру більшого торця й заправлена алмазним олівцем, вісь якого переміщується по радіусу, який збігається з радіусом розташування осей деталей у барабані подачі.

*Висновки відповідно до статті.* Уперше запропонована універсальна методика практичного використання моделі точності формоутворення торців деталей різних діаметрів, орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них. Представлений спосіб спрощує правку шліфувального круга, не потребує спеціальної правки, дозволяє використовувати штатну правку. Це дозволяє створити передумови для нових високоефективних технологій та методів шліфування торців деталей з різним діаметром торців, а також їх подальшого впровадження у виробничі процеси.

**Ключові слова:** шліфування; торці різного діаметра; штовхачі; орієнтовані шліфувальні круги; калібруючі ділянки.

Рис.: 2. Бібл.: 6.

*Постановка проблеми.* У багатьох галузях, а саме верстатобудуванні, автомобілебудуванні, сільськогосподарському машинобудуванні, виробництвах, де необхідне забезпечення високої точності поверхонь деталей з різними діаметрами торців, потрібно дотримуватися високих вимог до якості, що висуваються до геометричних розмірів, шорсткості та точності формоутворення. А також необхідно підвищувати і продуктивність обробки.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Шліфування торцевих поверхонь деталей з різними діаметрами торців здійснюються на двосторонніх торцешліфувальних верстатах. Шліфування та інші фінішні операції являють собою складні процеси.

Відомий спосіб одночасного шліфування стержневидних деталей [1]. Недоліком способу є те, що шліфувальні круги не мають калібруючих ділянок.

Відомий спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей [2]. Недоліком способу є те, що не розглядається обробка деталей з різними діаметрами торців.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Потрібно здійснити підвищення ефективності обробки деталей, завдяки вдосконаленню способів двостороннього шліфування торців штовхачів з різними діаметрами орієнтованими профільованими

шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них, за рахунок урівноваження сил різання, а також обертання оброблювальної деталі на калібруючій ділянці.

**Мета статті.** Підвищення точності обробки торцевих поверхонь деталей різних діаметрів шліфувальними кругами досягається завдяки тому, що формоутворення торця меншого діаметра виконується максимальним діаметром плоского торця одного круга, а формоутворення торця більшого діаметра – калібруючою ділянкою другого круга, довжина якої дорівнює діаметру більшого торця й заправлена алмазним олівцем, вісь якого переміщується по радіусу, який збігається з радіусом розташування осей деталей у барабані подач. Цей спосіб спрощує правку шліфувального круга, не потребує спеціальної правки, дозволяє використовувати штатну правку.

**Виклад основного матеріалу.** Перед обробкою деталей з торцями різних діаметрів на двосторонніх торцешліфувальних верстатах спочатку визначається величина припуску, що знімається при шліфуванні. Якщо припуск невеликий, то доцільно виконувати обробку орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок [3] та без обертання деталі навколо власної вісі. Якщо потрібна більша точність формоутворення, використовують спосіб з обертанням деталі. У випадку обробки деталей зі зняттям великих припусків, перевіряється можливість обробки орієнтованими шліфувальними кругами без калібруючих ділянок з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Такий варіант обробки обираємо, якщо похибка на торці більшого діаметра не більше допустимої. Для забезпечення обробки деталей за один прохід та необхідної точності обробки, при великосерійному та масовому виробництві використовується спосіб шліфування [4–6] орієнтованими кругами з калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Калібруючі ділянки при цьому робляться різної довжини, залежно від діаметра, відповідно більшого та меншого. Розрахунок точності формоутворення деталей здійснюється за програмою універсальної моделі точності формоутворення деталей з торцями різних діаметрів.

Мета досягається завдяки тому, що формоутворення торця меншого діаметра виконується максимальним діаметром плоского торця одного круга, а формоутворення торця більшого діаметра – калібруючою ділянкою другого круга, довжина якої дорівнює діаметру більшого торця й заправлена алмазним олівцем, вісь якого переміщується по радіусу, який збігається з радіусом розташування осей деталей у барабані подач.

На рис. 1 показано розрахункову схему шліфування торців різних діаметрів. На рис. 2 зображено штовхач газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання.

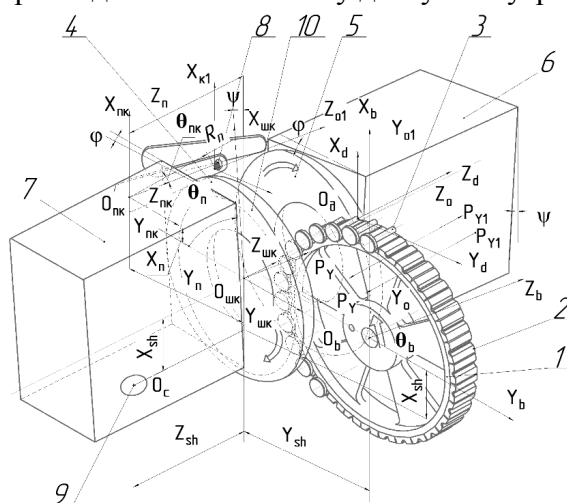


Рис. 1. Розрахункова схема шліфування торців різних діаметрів:

- 1 – барабан подач виробів; 2 – призма; 3 – заготовка; 4, 5 – шліфувальні круги; 6, 7 – шліфувальні бабки;
- 8 – пристрій для правки торцевих ділянок шліфувальних кругів; 9 – сферичний шарнір; відносно якого відбувається поворот кругів; 10 – калібруюча ділянка шліфувального круга, що обробляє торці більших діаметрів

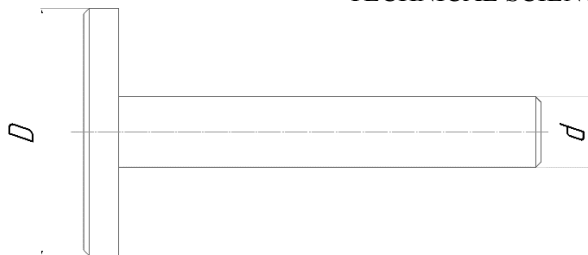


Рис. 2. Штовхач газорозподільного механізму двигуна внутрішнього згорання:

$D$  – діаметр більшого торця заготовки та  $d$  – діаметр меншого торця заготовки

Схема процесу двостороннього шліфування торців штовхачів газорозподільних механізмів двигунів внутрішнього згорання зображена на рис. 1, де заготовки 3, встановлені у призмах 2 барабана подач виробів 1, оброблюються шліфувальними кругами 4, 5, які повернуті на оптимальні кути разом зі шліфувальними бабками 6, 7. Поворот шліфувальних кругів 4, 5 на кути  $\psi$  та  $\phi$  відбувається відносно сферичних шарнірів 9.

Шліфувальні бабки разом із кругами орієнтують на кути  $\psi$  у вертикальній площині і на кути  $\phi$  – у горизонтальній. У процесі шліфування деталі переміщуються в зону, що звужується.

Для розробки математичних моделей найбільш важливих характеристик процесу шліфування використовується функція формоутворення верстата. Вона являє собою аналітичну залежність, що зв'язує переміщення ланок формоутворюючої системи з траєкторією руху точок інструмента відносно оброблюваної деталі в системі координат деталі.

Торець інструмента при його профілюванні на верстаті описується залежністю

$$\begin{aligned} \vec{R}_i(\theta_B, \theta) = & M6(\theta) \cdot M1(-X_{sh}) \cdot M5(\psi) \cdot M4(\phi) \cdot M2(Y_{sh}) \times \\ & \times M1(X_{sh}) \cdot M3(Z_{sh}) \cdot M6(-\theta_B) \cdot M1(R_B) \cdot \vec{e4}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\theta_B$ ,  $\theta$  – параметри поверхні різального інструменту, що відповідають за кутове й радіальне положення точки робочої поверхні круга;

$M1$ ,  $M2$ ,  $M3$ ,  $M4$ ,  $M5$ ,  $M6$  – матриці перетворення систем координат, які моделюють поступальний рух вздовж осей координат і повороти навколо них;

$X_{sh}$ ,  $Y_{sh}$ ,  $Z_{sh}$  – розміри, які визначають положення центра сферичного пальця щодо барабана подач і робочої площини круга;

$\phi$ ,  $\psi$  – кути орієнтації шліфувальної бабки в горизонтальній і вертикальній площинах;

$R_B$  – радіальний розмір розташування осей заготовок у барабані подач;

$e4 = (0,0,0,1)^T$  – радіус-вектор вершини алмазного олівця для правки, що збігається з початком координат.

Формоутворююча модель верстата описує сукупність інструментальних поверхонь у системі координат деталі

$$\begin{aligned} \vec{R}_o(\theta_k, \theta_B, \theta) = & M1(-R_B) \cdot M6(\theta_k) \cdot M3(-Z_{sh}) \cdot M1(-X_{sh}) \times \\ & \times M2(-Y_{sh}) \cdot M4(-\phi) \cdot M5(-\psi) \cdot M6(X_{sh}) \cdot \vec{R}_i(\theta_B, \theta), \end{aligned} \quad (2)$$

$\theta_k$  – кутова координата положення центра заготовки відносно системи координат круга.

У формоутворенні торця більшого діаметра заготовки бере участь вся поверхня калібруючої ділянки, але остаточна точність може формуватися колом найменшого радіусу  $R_{min}$ , найбільшого радіусу  $R_{max}$  або лінією контакту заготовки з кругом. Остаточна точність при обробці меншого діаметра заготовки формується максимальним радіусом плоского торця шліфувального круга.

Радіус-вектор характеристики на формоутворюючій ділянці торцевої поверхні круга визначається із рівняння (2), враховуючи рівняння зв'язку для однопараметричного огинання.

$$\frac{\partial \overline{R}_o(\theta_k, \theta_B, \theta)}{\partial \theta_k} \cdot \frac{\partial \overline{R}_o(\theta_k, \theta_B, \theta)}{\partial \theta_B} \cdot \frac{\partial \overline{R}_o(\theta_k, \theta_B, \theta)}{\partial \theta} = 0. \quad (3)$$

Остаточна точність обробки більшого діаметра заготовки формується колами найменшого  $R_{\min}$  (4) та найбільшого  $R_{\max}$  (5) радіусів калібруючої ділянки шліфувального круга.

$$\overline{R}_o(\theta_k, \theta) = M1(-R_B) \cdot M6(\theta_k) \cdot M3(-Z_{sh}) \cdot M1(-X_{sh}) \cdot M2(-Y_{sh}) \times \\ \times M4(-\phi) \cdot M5(-\psi) \cdot M1(X_{sh}) \cdot M6(\theta) \cdot M1(R_{\min}) \cdot M3(Z_{\min}) \cdot \overline{e^4}. \quad (4)$$

$$\overline{R}_o(\theta_k, \theta) = M1(-R_B) \cdot M6(\theta_k) \cdot M3(-Z_{sh}) \cdot M1(-X_{sh}) \cdot M2(-Y_{sh}) \times \\ \times M4(-\phi) \cdot M5(-\psi) \cdot M1(X_{sh}) \cdot M6(\theta) \cdot M1(R_{\max}) \cdot M3(Z_{\max}) \cdot \overline{e^4}. \quad (5)$$

Для забезпечення найбільшої точності торців деталей формоутворення торця меншого діаметра виконується максимальним діаметром плоского торця одного круга, а формоутворення торця більшого діаметра – калібруючою ділянкою другого круга, довжина якої дорівнює діаметру більшого торця й заправлена алмазним олівцем, вісь якого переміщується по радіусу, який збігається з радіусом розташування осей деталей у барабані подачі.

**Висновки відповідно до статті.** Уперше запропонована універсальна методика практичного використання моделі точності формоутворення торців деталей різних діаметрів, орієнтованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них. Представлений спосіб спрощує правку шліфувального круга. Не потребує спеціальної правки, дозволяє використовувати штатну правку. Це дозволяє створити передумови для нових високоефективних технологій та методів шліфування торців деталей з різним діаметром торців, а також їх подальшому впровадженню у виробничі процеси.

#### Список використаних джерел

1. Деклараційний патент 10636 Україна на винахід (корисну модель), МПК В24В5/04. Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей / Кальченко В. В., Жадан О. В.; заявник та патентовласник Кальченко В. В., Жадан О. В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05 ; опубл. 15.11.05, Бюл. № 1.
2. Декларационный патент 2417148 Российская Федерация, МПК, В 24 В 1/00, В 24 В 19/00. Способ шлифования стержневидных обрабатываемых деталей, шлифовальный станок (варианты) и шлифовальная секция спаренного расположения / Химмельсбах Георг (DE), Мюллер Хуберт (DE) ; заявитель и патентообладатель Эрвинюнкер Грайнддинг Текнолоджи А.С. (CZ) – № EP 2007/001183 ; заявл. 12.02.2007 ; опубл. 27.04.2011, Бюл. № 12.
3. Saturn. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / ErwinJunker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005. – 8 с.
4. Вайнер Л. Г. Моделирование сил резания и характеристик съема припуска при двустороннем шлифовании торцов одиночной заготовки / Л. Г. Вайнер // Новые материалы и технологии в машиностроении : сборник научных трудов по итогам международной научно-технической конференции. – Брянск : БГИТА, 2011. – Вып. 14. – С. 14–17.
5. Каминская В. В. Расчетное определение сил резания при обработке торцов роликов на двухстороннем торцешлифовальном станке / В. В. Каминская, Л. Г. Вайнер // Повышение эффективности использования технологического оборудования, гибких автоматизированных станочных комплексов : тез. докл. науч.-техн. конф. – Комсомольск-на-Амуре : ХЦНТИ, 1985. – С. 12–13.
6. Филимонов Л. Н. Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.

#### References

1. Kalchenko, V. V. & Zhadan, O. V. (2005). *Sposib odnochasnoho shlifuvannia dvokh tortsiv tsylindrychnykh detalei [The method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. Deklaratsiyuniy patent 10636 Ukrainy na vynakhid (korysnu model) – Declarative patent 10636 of Ukraine for invention (utility model), МПК V24V5/04 [in Ukrainian].

2. Khimmelsbakh Georg (DE), Miuller Khubert (DE), Erviniun-ker Grainding Teknolodzhi A. S. (CZ). *Sposob shlifovaniia sterzhnevidnykh obrabatyvaemykh detalei shlifovalnyi stanok va-rianty i shlifovalnaia seksiiia sparennogo raspolozheniia* [The method of grinding rod-shaped workpieces, a grinding machine (variants) and a grinding section of a paired arrangement]. Deklaratsionnyi patent 2417148 Rossiiskoi Federatsii – Declaration patent 2417148 of Russian Federation, MPK, V 24 V 1/00, V 24 V 19/00 [in Russian].

3. 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].

4. Vainer, L.G. (2011). Modelirovanie sil rezaniia i kharakteristik sema pripuska pri dvustoronnem shlifovanii tortcov odinochnoi zagotovki [Simulation of the cutting forces and the stock removal performance at the bilateral ends of a single billet grinding]. *Novye materialy i tekhnologii v mashinostroenii FGBOU VPO Brianskaia gosudarstvennaia inzhenerno-tekhnologicheskaja akademiia – New materials and technologies in mechanical engineering. VPO Bryansk State Engineering and Technological Academy*, 14, 14–17 [in Russian].

5. Kaminskaia, V. V. & Vainer, L. G. (1985). Raschetnoe opredelenie sil rezaniia pri obrabotke tortcov rolikov na dvukhstoronnem tortceshlifovalnom stanke [Estimated determination of cutting forces during the processing of the ends of rollers on a two-sided face grinding machine]. Proceedings from *Povyshenie effektivnosti ispolzovaniia tekhnologicheskogo oborudovaniia, gibkikh avtomatizirovannykh stanochnykh kompleksov – Increasing the efficiency of using process equipment, flexible automated machine tools* (pp. 12–13). Komsomolsk-na-Amure: KhTcNTI [in Russian].

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

UDC 621.923.42

Volodymyr Kalchenko, Volodymyr Venzheha,  
Oleksandr Lytvyn, Dmytro Kalchenko

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF TORCHES DOUBLE-SIDED GRINDING OF PUSHERS WITH DIFFERENT DIAMETERS WITH CALIBRATION PARTS AND WITHOUT THEM

**Urgency of the research.** Ensuring high performance and precision processing of faceplates of different diameters requires the development of new, high-efficient methods and processing methods.

**Target setting.** In modern conditions of development at automotive and machine-building factories, the receipt of high-precision end surfaces of parts is associated with high requirements for the accuracy and productivity of grinding with the use of modern mechanical processing technologies, which have high requirements for the accuracy and quality of machined end surfaces and should have a large operational life.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Grinding of end surfaces of parts with different diameters of faces, is carried out on two-sided end-grinding machines. Grinding and other finishing operations are complex processes.

A known method of simultaneous grinding of rod-shaped parts is known. The disadvantage of the method is that the grinding wheels do not have calibration areas.

A known method of simultaneous grinding of two ends cylindrical parts. The disadvantage of the method is that the processing of parts with different face diameters is not considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** It is necessary to increase the efficiency of parts processing thanks to the improvement of the methods of two-sided polishing of the ends of pushers with different diameters oriented grinding wheels with and without calibration sections due to the balancing of the cutting forces and the rotation of the workpiece in the calibration section.

**The research objective.** The method of two-sided grinding of ends of different diameters with oriented grinding wheels with calibration sections is presented, which provides an increase in the accuracy and performance of parts processing.

**The statement of basic materials.** Improving the accuracy of finishing the end surfaces of parts of various diameters with grinding wheels, is achieved by the fact that the shaping of the ends of the smaller diameter is performed by the maximum diameter of the flat end of one circle, and the shaping of the end face of a larger diameter – is by the calibration section of the second circle, the length of which is equal to the diameter of the larger end and filled with diamond pencil, which moves along a radius, which coincides with the radius of the location of the axes of the parts in the feed drum.

**Conclusions.** For the first time, a universal method of practical application of the model of the accuracy of forming the ends of parts of various diameters, oriented grinding circles with and without calibration plots is presented. The following method simplifies the grinding of the grinding wheel. It does not require special editing, allows you to use regular editing. It allows us to create the preconditions for new highly effective technologies and methods of grinding end faces with different diameter of the ends, as well as their further implementation in production processes.

**Keywords:** grinding; ends of different diameters; pushers; oriented grinding wheels; calibration sections.

Fig.: 2. References: 6.

Владимир Кальченко, Владимир Венжега,  
Александр Литвин, Дмитрий Кальченко

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ ТОРЦОВ РАЗНОГО ДИАМЕТРА ТОЛКАТЕЛЕЙ С КАЛИБРУЮЩИМИ УЧАСТКАМИ И БЕЗ НИХ

**Актуальность темы исследования.** Обеспечение высокой производительности и точности обработки торцевых поверхностей разного диаметра требует разработки новых, высокоэффективных методов и способов обработки.

**Постановка проблемы.** В современных условиях развития на автомобилестроительных и машиностроительных заводах получение высокоточных торцевых поверхностей деталей связано с высокими требованиями к точности и производительности шлифования с применением технологий современной механической обработки, которые имеют высокие требования по точности и качества обрабатываемых торцевых поверхностей и должны иметь большой ресурс эксплуатации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Шлифовка торцевых поверхностей деталей с различными диаметрами торцов осуществляются на двусторонних торцешлифовальных станках. Шлифовка и другие финишные операции представляют собой сложные процессы.

Известен способ одновременного шлифования стержневидных деталей. Недостатком способа является то, что шлифовальные круги не имеют калибрующих участков.

Известен способ одновременного шлифования двух торцов цилиндрических деталей. Недостатком способа является то, что не рассматривается обработка деталей с разными диаметрами торцов.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Необходимо провести повышение эффективности обработки деталей благодаря совершенствованию способов двустороннего шлифовки торцов толкателей с различными диаметрами ориентированными профилированными шлифовальными кругами с калибровкой участками и без них, за счет уравновешивания сил резания, а также вращения обрабатываемой детали на калибровкой участке.

**Постановка задачи.** Представлен способ двустороннего шлифования торцов разного диаметра ориентированными шлифовальными кругами с калибровкой участками и без них, что обеспечивает повышение точности и производительности обработки деталей.

**Изложение основного материала.** Повышение точности обработки торцевых поверхностей деталей разных диаметров шлифовальными кругами достигается благодаря тому, что формообразования торца меньшего диаметра выполняется максимальным диаметром плоского торца одного круга, а формообразования торца большего диаметра – калибрующим участком второго круга, длина которого равна диаметру большего торца и заправленная алмазным карандашом, ось которого перемещается по радиусу, который совпадает с радиусом расположения осей деталей в барабане подачи.

**Выводы в соответствии со статьей.** Впервые предложена универсальная методика практического использования модели точности формообразования торцов деталей различных диаметров, ориентированными шлифовальными кругами с калибрующими участками и без них. Представленный способ упрощает правку шлифовального круга, не требует специальной правки, позволяет использовать штатную правку. Это позволяет создать предпосылки для новых высокоэффективных технологий и методов шлифования торцов деталей с различным диаметром торцов, а также их дальнейшему внедрению в производственные процессы.

**Ключевые слова:** шлифовка; торцы разного диаметра; толкатели; ориентированные шлифовальные круги; калибрующие участки.

Рис.: 2. Библ.: 9.

**Кальченко Володимир Віталійович** – доктор технічних наук, професор, проректор з науково-педагогічної роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Кальченко Владимир Витальевич** – доктор технических наук, профессор, проректор по научно-педагогической работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kalchenko Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector in Scientific and Pedagogical Work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** G-6752-2014

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

**Вежега Владимир Иванович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Venzheha Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Road Transport Industry and Mechanical Engineering Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** H-3560-2014

**Литвин Олександр Олександрович** – аспірант кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Литвин Александр Александрович** – аспірант кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Lytvyn Oleksandr** – PhD student of the Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** xpover4718@gmail.com

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

**ResearcherID:** J-1479-2016

**Кальченко Дмитро Володимирович** – магістр, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Кальченко Дмитрий Владимирович** – магистр, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kalchenko Dmytro** – master, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

Олександр Литвин, Ірина Ящук

## ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЦАНГОВОГО ПАТРОНА ДЛЯ ЗАКРІПЛЕННЯ ШТУЧНИХ ЗАГОТОВОК

**Актуальність теми дослідження.** Затискні цангові патрони широко застосовується для закріплення заготовок при обробці на токарних верстатах. Забезпечення стабільності силових характеристик, характеристик жорсткості і точності затиску, підвищення надійності затиску є актуальною проблемою.

**Постановка проблеми.** Підвищення показників точності верстатів сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції машинобудування. Конструктивне виконання, якість виготовлення затискного патрона визначає багато в чому його силові характеристики, а також точність, жорсткість і силові параметри затиску заготовки як в статичі, так і в динаміці.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Цангові затискні патрони відомі й використовуються досить довго, їх розгляду присвячено значну кількість публікацій і досліджень, які важливі для отримання характеристик патронів і оцінки їх працездатності. Відхилення діаметра затиску веде до зміни характеристик зажимного цангового патрона в 2 ... 3 і більше разів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Раніше проведені дослідження ґрунтувалися і були проведені на пружкових заготовках, а конструкції цангових патронів для коротких штучних заготовок практично не були досліджені.

**Постановка завдання.** Розкид силових характеристик затискного патрона визначається також конструкцією привода затиску верстата і відхиленням поверхні закріпленої деталі. Використовуються уніфіковані затискні патрони, в яких так звані «базові» деталі залишаються незмінними, а міняються деталі, які взаємодіють із заготовкою.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто процес затиску в уніфікованому цанговому патроні заготовки з різних відхиленням від номінального розміру, наведені розрахункові формули для визначення сили затиску. Аналіз дозволяє зробити висновок про те, що при затиску заготовки великого діаметра з'являється додаткова складова сили затиску, яка підсилює сумарне зусилля затиску.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено теоретичні основи розрахунку і принципи проектування цангового патрона для штучних деталей, які дозволяють при проектуванні з урахуванням нелінійності сил тертя і наявності пружно-фрикційного шарніра визначити характеристики процесу затиску штучної деталі.

**Ключові слова:** цанговий патрон; жорсткість; зусилля затиску; патрон-деталь; розрахункова схема.

Рис.: 7. Бібл.: 4.

**Постановка проблеми.** Затискні цангові патрони широко застосовується для закріплення заготовок при обробці на токарних верстатах. Вимога до підвищення точності обробки деталей є актуальною, і ця тенденція досить важлива для розвитку сучасного виробництва. Цангові патрони використовують для затиску пружкового матеріалу різного профілю (у т. ч. конструкції за ГОСТ 2876-80) і окремих заготовок, які є, переважно, оригінальними. Відомі конструкції цангових патронів для центрування по зовнішньому та внутрішньому діаметру: з тягнуною цангою, які застосовують для закріплення штучних (для орієнтування заготовки в осьовому напрямі у середині цанги встановлений упор) та пружкових заготовок; зі штовхаюною цангою, найчастіше вживаною для закріплення пружкових заготовок (для фіксації прутка в осьовому напрямі упор встановлений попереду цанги) та нерухомою цангою. Перевага при кріпленні деталей у цанзі полягає в тому, що при обробці практично відсутні радіальне биття деталі. Силовий контур сил у цанговому патроні закритий та замкнений (рис. 1). Цанги часто використовуються у верстатах з числовим програмним управлінням, де можна легко закріпити заготовку за допомогою автоматичних механізмів. Одним із недоліків цангових патронів, що знижують їхні техніко-економічні показники й обмежують технологічні можливості, є низька і нестабільна радіальна жорсткість системи патрон-деталь з одинарним затиском [1], що значно впливає на утворення похибок деталей, що призводить до збільшення припусків на наступні операції й обмежує частоту обертання заготовки, зважаючи на можливість появи вібрацій. Стабілізація жорсткості системи патрон – деталь зменшує відхилення від круглості, що особливо важливо при обробці коротких кільцевих високоточних деталей. Крім того, збільшується вібростійкість верстата й підвищуються режими різання.



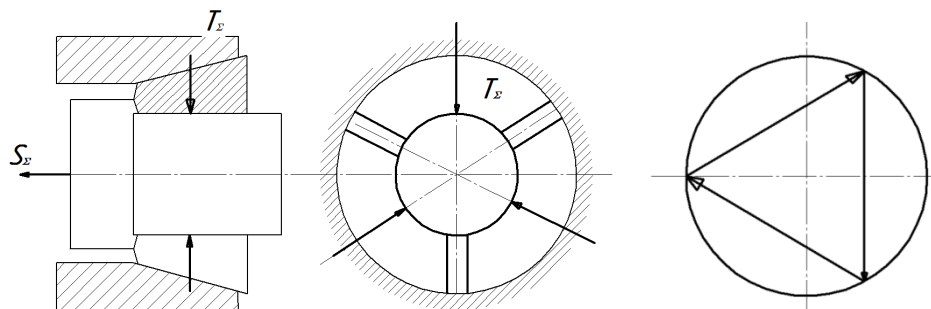


Рис. 1. Схема сил у цанговому патроні та схема замикання зусиль затиску в силовому контурі (замкненому закритому)

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** З практичних і теоретичних досліджень [1; 2; 3] відомо, що зміна діаметра затиску веде до зміни силових, жорсткісних і інших характеристик затискного цангового патрона в 2...3 і більше разів. А стабілізація або регулювання сили затиску заготовки в затискному пристрої сприяє максимальній продуктивності й точності обробки, економії енергії та матеріалу.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Крім того, раніше проведені дослідження ґрунтувалися та були проведені на пружкових заготовках, а конструкції цангових патронів для коротких штучних заготовок практично не були досліджені. Тому питання дослідження впливу різних чинників на силові характеристики цангового затискного патрона для штучних деталей є актуальним.

**Мета статті.** Розглянута проблема пов'язана з важливими науковими та практичними завданнями розвитку вітчизняного верстатобудування. Підвищення показників точності верстатів сприяє підвищенню конкурентоспроможності продукції машинобудування. Конструктивне виконання, якість виготовлення затискного патрона визначає багато в чому його силові характеристики, а також точність, жорсткість та силові параметри затиску заготовки як у статиці, так і в динаміці. Розкид силових характеристик затискного патрона визначається також характеристиками й конструкцією привода затиску верстата. На експлуатаційні характеристики затискного патрона впливають також параметри закріплення деталей. На практиці при оснащенні токарних верстатів і верстатних систем використовуються уніфіковані затискні патрони, при проектуванні й розрахунку яких так звані «базові» деталі залишаються незмінними, а змін і доопрацювання зазнають лише деталі й елементи патрона, які взаємодіють із заготовкою, насамперед цанга та упор деталі (рис. 2). Тому при тих же самих габаритах патрона їх конструктивне виконання при незначних змінах 2-3 деталей може надійно закріплювати заготовки різного діаметру (але в межах габаритів «базових» деталей).

**Виклад основного матеріалу.** Пелюстки цанги утворені поздовжніми прорізами і являють собою консольно закріплену балку, яка отримує радіальні пружні переміщення при поздовжньому русі самої цанги або штока за рахунок взаємодії з конусами в корпусі або на штоку. Переміщення всіх пелюсток цанги відбувається одночасно, що забезпечує самоцентрування деталі. Для забезпечення працездатності цанги деформація її пелюсток не повинна виходити за межі пружної зони. Це вимагає підвищеної точності базового діаметра оброблюваної деталі, який повинен бути виконаний з точністю не більше 9-го квалітету.

На практиці важливу роль у надійному затиску заготовки відіграють силові характеристики цангового патрона, а саме: 1)  $S_{\Sigma}$  - сумарне осьове зусилля привода затиску; 2) сумарне радіальне зусилля затиску  $T_{\Sigma}$ , що визначається як  $T_{\Sigma} = T \cdot z$ , де  $T$  – сила на одній пелюстці цанги;  $z$  – кількість пелюсток цанги; 3) коефіцієнт посилення патрона  $KП = T_{\Sigma} \sqrt{S_{\Sigma}}$ .

При визначенні необхідного зусилля затиску враховують можливість впливу на силові характеристики відхилень механічних характеристик патрона, розмірів заготовки та інших факторів. Для практичних потреб виробництва бажано знати, як змінюються

коефіцієнт посилення затискного патрона, радіальне зусилля затиску та жорсткість затиску в патроні від зміни величини діаметра затиску заготовки.

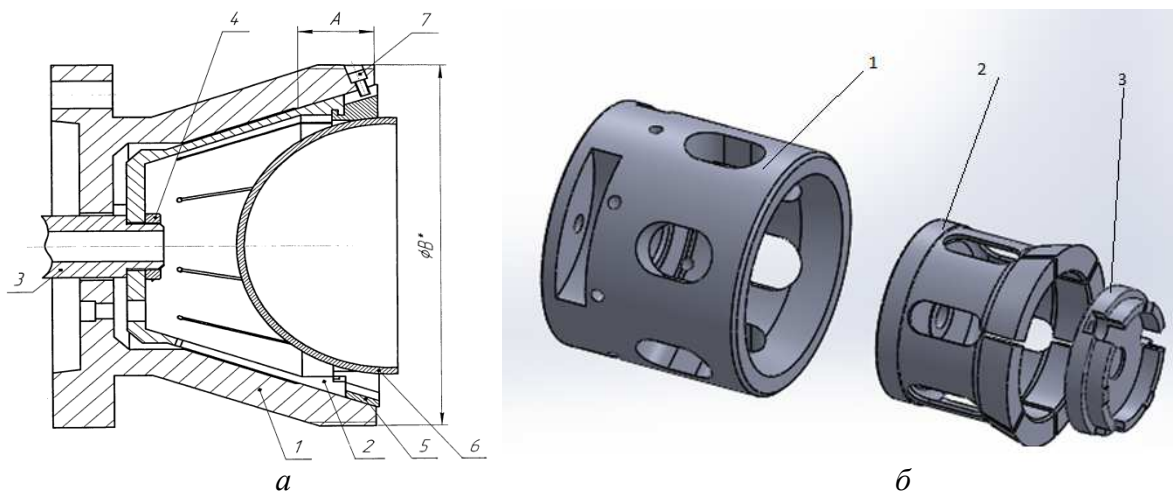
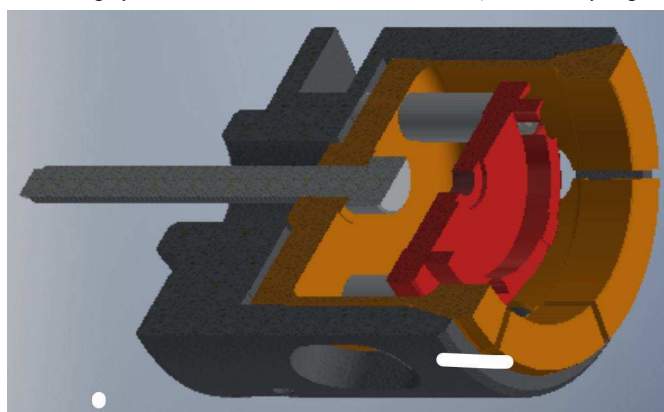


Рис. 2. Цанговий патрон:

*а* – оригінальної конструкції для затиску тонкостінних деталей:  
 1 – корпус; 2 – цанга; 3 – тяга; 4 – гайка; 5 – пружна вставка; 6 – деталь; 7 – фіксатор;  
*б* – уніфікований цанговий патрон з базовою деталлю:  
 1 – корпус та змінними деталями; 2 – цанга; 3 – упор



На рис. 2, б наведено конструкцію уніфікованого цангового патрона для закріплення штучних заготовок різного діаметра. Патрон призначений для затиску деталей по циліндричній поверхні і забезпечує затиск деталей у межах 70...150 мм вказаного типорозміру з допуском  $\pm 0,5$  мм. Деталі взаємозамінні. Патрон використовується ПАТ «Веркон» на верстатах мод. ПАБ 350 та ТАК 102, ТАК 103.

Розглянемо процес затиску в уніфікованому цанговому патроні заготовок діаметром  $D_1$ ,  $D_2$  і  $D_3$  (причому  $D_1 < D_2 < D_3$ ), який відбувається при таких параметрах патрона:  $b$  – база затиску;  $l$  – виліт закріпленої заготовки відносно точки А прикладення зусилля затиску в патроні;  $l_p$  – плече прикладення зусилля різання  $P_r$  відносно точки В, яка визначається перетином радіуса пружно-фрикційного шарніру з поверхнею заготовки діаметром  $D$ ; точка А – визначає місце прикладення зусилля в стику конусу цанги – корпусу патрона; точка О – центр пружно-фрикційного шарніра для цього патрона й конкретної схеми затиску.

Для трьох варіантів схем процесу затиску можна прийняти: для схеми 1:  $m_1 > 0$  (рис. 3); для схеми 2:  $m_2 \approx 0$  (рис. 4); для схеми 3:  $m_3 < 0$  (рис. 5), де  $m$  – відхилення пелюстки цанги від горизонталі в затиснутому стані патрона,  $a$  – довжина конуса корпусу патрона вздовж його осі;  $b$  – довжина (база) затиску.

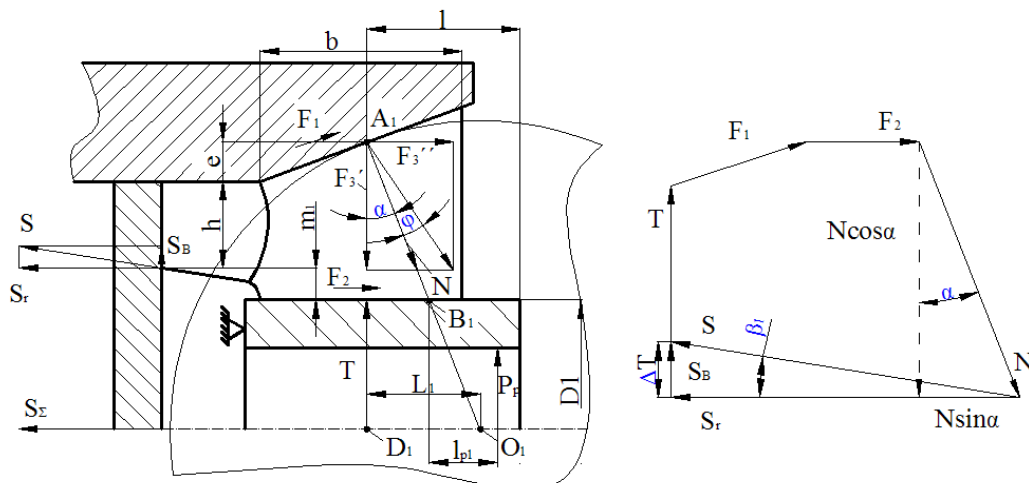


Рис. 3. Розрахункова схема та силовий багатокутник цангового патрона при затиску заготовки діаметром  $D_1$  з найменшим відхиленням від номінального

При цьому діаметр розточування конуса корпусу патрона під цангу однаковий у всіх патронах. Згідно з [1] розташування центрів пружно-фрикційного шарніру  $O_1, O_2, O_3$  визначається для одинарного цангового затиску відрізком  $OD = L_i$  при зазначеній довжині затиску  $b$ . І чим більша величина відрізка  $OD$ , тим вища жорсткість закріплення заготовки.

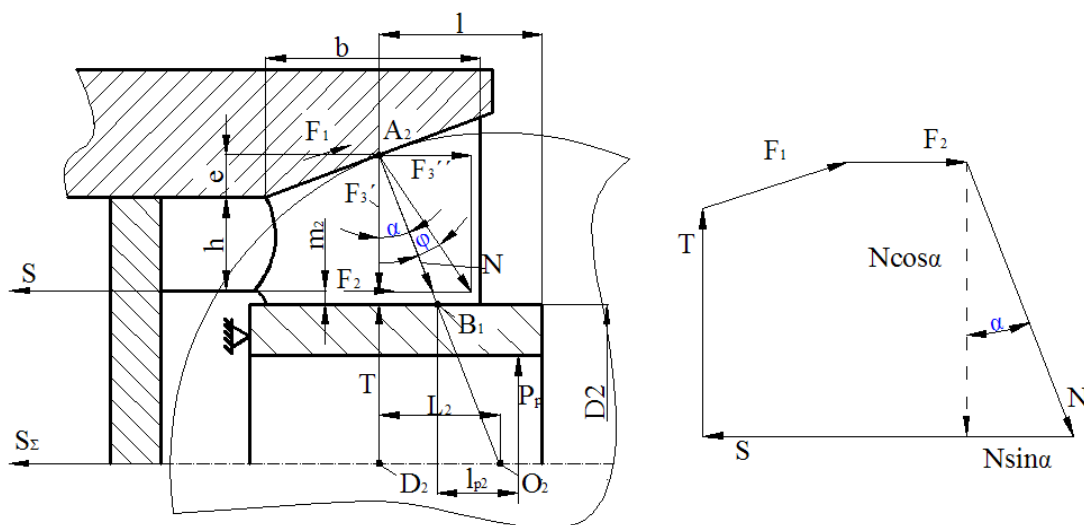


Рис. 4. Розрахункова схема та силовий багатокутник цангового патрона при затиску заготовки діаметром  $D_2$  з нульовим відхиленням від номінального

Так, у конструкції патрона, наведеного на рис. 3, жорсткість затиску максимальна, а в конструкції на рис. 5 жорсткість найменша, оскільки  $L_{p1} < L_{p2} < L_{p3}$  з умови  $\Delta A_1D_1O_1 = \Delta A_2D_2O_2 = \Delta A_3D_3O_3$ . Отже, при виконанні цангового патрона за схемою, наведеною на рис. 1, а, він має максимальну радіальну жорсткість закріплення.

Визначимо коефіцієнт посилення цангового патрона (рис. 2, б) для кожного з варіантів закріплення. Як приклад розглянемо випадок затиску заготовки з максимальним діаметром (рис. 5). З багатокутника сил, що діють у патроні, складемо рівняння рівноваги в горизонтальній і вертикальній площинах:

$$F_1 \cos \alpha + N \sin \alpha + F_2 - S \cos \beta_3 = 0;$$

$$T + F_1 \sin \alpha - N \cos \alpha - S \sin \beta_3 + R_y = 0,$$

де  $F_2 = Tf_2$ ;  $F_1 = Nf_1$  – сили тертя в спряженнях патрону;  $N$  – нормальна складова, що діє зі сторони конуса корпусу на конус цанги;  $f_1$  і  $f_2$  – коефіцієнти тертя між конусом цанги і патрона, між губкою цанги та заготовкою;  $\beta < 0$ , оскільки кут відліковується від горизонтальної складової сили  $S$  проти годинникової стрілки;  $R_y$  – сила пружності пелюстків цанги.

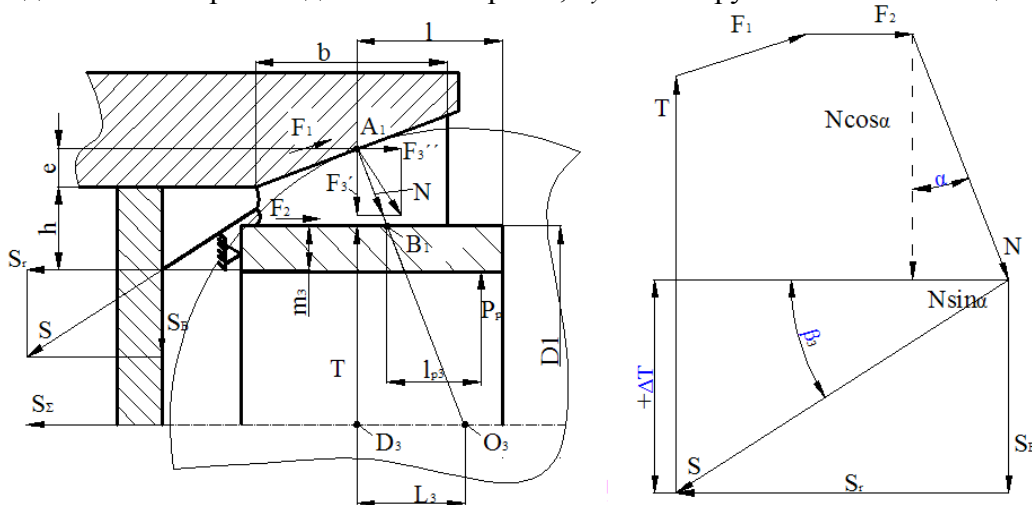


Рис. 5. Розрахункова схема та силовий багатокутник цангового патрона при затиску заготовки діаметром  $D_3$  з найбільшим відхиленням від номінального

Для визначення сили  $R_y$ , яка витрачається на деформацію пелюстки цанги, її розглядають як консольно закріплену балку з вильотом  $l$ .

$$y = \frac{R_y l^3}{3EJ},$$

тоді для всіх пелюстків  $z$ :

$$R_y = \frac{3EJ}{l^3} y \cdot z,$$

де  $E$  – модуль пружності матеріалу цанги;  $J$  – момент інерції сектора перетину цанги в місці закладення пелюстки цанги.

Після перетворення рівнянь маємо:

$$N(f_1 \cdot \cos\alpha + \sin\alpha) + T \cdot f_3 - S \cos\beta_3 = 0;$$

$$N(f_1 \sin\alpha - \cos\alpha) + T - S \sin\beta_3 + R_y = 0;$$

Визначивши реакцію  $N$  з рівнянь і прирівнюючи їх значення, нехтуючи  $R_y$  при малих кутах розводки цанги, отримаємо:

$$\frac{S \cos\beta - Tf_2}{f_1 \cos\alpha + \sin\alpha} = \frac{S \sin\beta - R_y - T}{\cos\alpha - f_1 \sin\alpha}.$$

Після нескладних перетворень, враховуючи, що осьова сила затиску  $S = (T + R_y)$ , визначимо коефіцієнт посилення  $K_{II}$  для патрона, наведеного на рис. 3:

$$K_{II} = \frac{\cos\beta(\cos(\alpha + \varphi) - f \sin(\alpha + \varphi)) - \sin\beta(f \cos(\alpha + \varphi) + \sin(\alpha + \varphi))}{1 - (\sin(\alpha + \varphi)(f^2 + 1))},$$

де  $\varphi$  – приведений кут тертя в сполученні конус цанги – конус корпусу затискного патрона.

Для конструкції патрона, наведеного на рис. 4, кут  $\beta > 0$ , тому коефіцієнт посилення  $K_{II}$  дорівнює:

$$K_{П2} = \frac{\cos \beta (\cos(\alpha + \varphi) - f \sin(\alpha + \varphi)) - \sin \beta (f \cos(\alpha + \varphi) + \sin(\alpha + \varphi))}{1 - (\sin(\alpha + \varphi)(f^2 + 1))}$$

Для патрона, схема якого представлена на рис. 5, кут  $\beta \approx 0$ , тому:

$$K_{П3} = \frac{\cos(\alpha + \varphi)}{f(f \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) - 1)}$$

або

$$K_{П3} = \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi).$$

Порівнюючи значення коефіцієнтів посилення, очевидно, що  $K_{П1} < K_{П2} < K_{П3}$ . Для кожної конструкції цангового патрона побудовані багатокутники сил, що діють на елементи патрона. Аналіз силових багатокутників, побудованих для цангових затискних патронів при затиску заготовок з різним відхиленням діаметрів ( $D1 < D2 < D3$ ) дозволяє зробити висновок про те, що при затиску заготовок більшого діаметра  $D3$  з'являється додаткова складова сили затиску  $\Delta T$ , яка підсилює сумарне зусилля затиску.

Тип передавально-підсилювальної ланки і кут  $\beta$  нахилу його ланок істотно впливають на величину КП. Аналіз впливу кута нахилу ланок цангового ЗП для штучних деталей показав, що збільшення кута нахилу пелюсток цанги  $\alpha$  веде до збільшення КП. На рис. 6 наведений графік зміни коефіцієнта посилення КП цангового патрона при різних кутах нахилу в пелюстки цанги при затиску заготовок різного діаметру при зміні кута конуса передавально-підсилювальної ланки патрона, що випускається Київським ПАТ «Веркон» (тип 001-000-2094-8416).

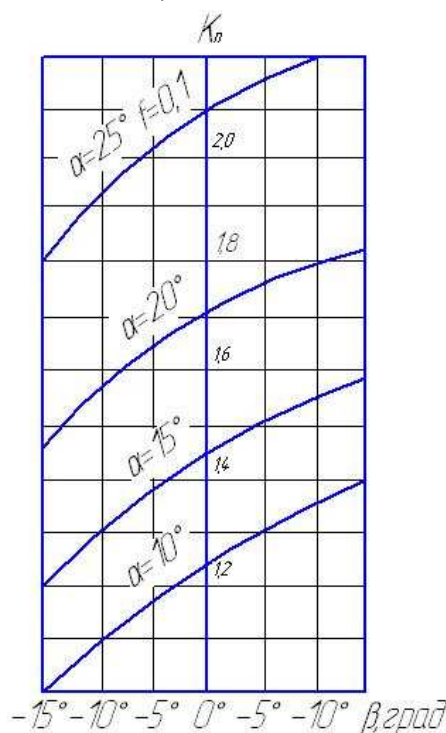


Рис. 6. Залежність коефіцієнта посилення від кутів  $\beta$  нахилу ланок (пелюсток) цанги і  $\alpha$  передавально-підсилювальної ланки

Як варіант вирішення проблеми пропонується використання цангового патрона з адаптивними затискними елементами [3]. Цанговий патрон (рис. 7) складається з корпусу 1, всередині якого розміщена затискна цанга 4 з хвостовою частиною, з'єднана з приводом верстата (не показаний) за допомогою тягового гвинта 3. Гвинт тяговий 3 за-

кріплений за допомогою втулки 7 зі стопорним гвинтом 8. У корпусі 1 за допомогою втулки 2, закріпленої гвинтами 9 (їх може бути три), встановлений упор 11.

Кожна губка затискної цанги 4 споряджена осьовими пазами з розміщеними в них пластинчастими пружними елементами 5 з фігурними прорізами на робочій поверхні (рис. 4).

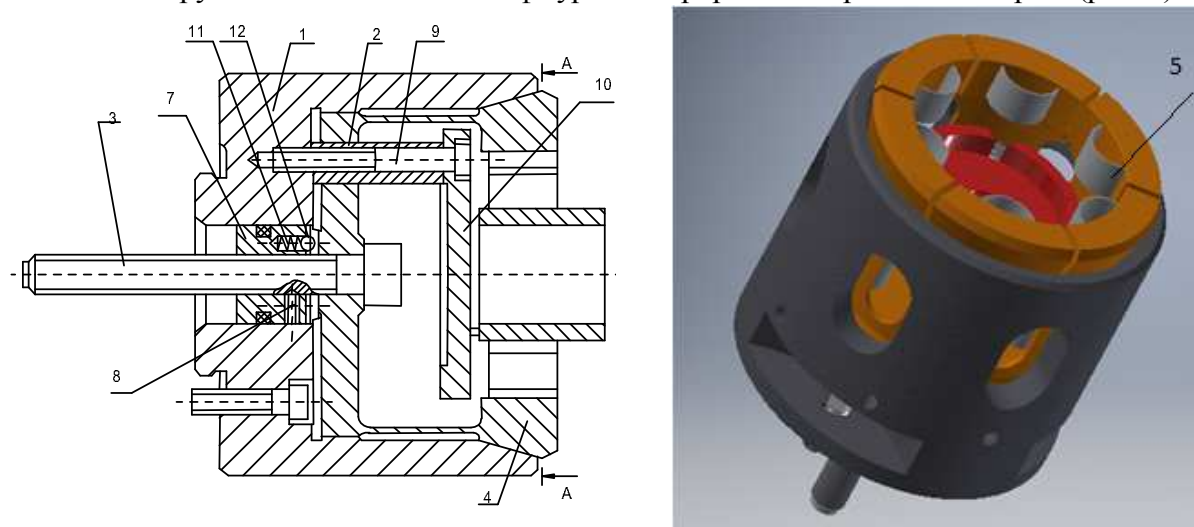


Рис. 7. Цанговий патрон з адаптивними затискними елементами

**Висновки відповідно до статті.** Розроблені теоретичні основи розрахунку та принципи проектування цангового патрона для штучних деталей дозволяють при проектуванні, зокрема, на стадії вибору геометричних параметрів патрона проводити аналіз його силових характеристик. З урахуванням нелінійності сил тертя і наявності пружно-фрикційного шарніра визначені особливості процесу затиску штучної деталі. Адекватність і точність розробленої моделі цангового патрона підтверджена результатами експериментального визначення коефіцієнта посилення заводського патрона виробництва ПАТ «Веркон».

#### Список використаних джерел

1. Дальский А. М. Жёсткость и технологическая наследственность при обработке высокоточных деталей / А. М. Дальский // Жёсткость машиностроительных конструкций : материалы Всесоюзной научно-техн. конференции. – Брянск, 1976. – С. 27–29.
2. Кузнецов Ю. Н. Генетико-морфологический подход к созданию и прогнозированию развития зажимных механизмов для вращающихся деталей / Ю. Н. Кузнецов, А. Г. Хамуйела Жоакин, А. Попаров // Journal of the Technical University. – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria „Fundamental Sciences and Applications”. – 2013. – Vol. 19, Book 2. – P. 7–13.
3. Литвин О. В. Технологічна система токарного верстат та її вплив на обробку нежорстких деталей / О. В. Литвин // Вісник СевНТУ : зб. наук. пр. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. – Севастополь, 2014. – Вип. 151. – С. 81–87.
4. Патент 100461 UA МПК В23В 31/02 (2006.01), Цанговий патрон / Вороненко О. Г., Литвин О. В. – u201501172, заявл. 12.02.2015, опубл. 27.07.2015, Бюл. № 14.

#### References

1. Dalskii, A. M. (1976). Zhestkost i tekhnologicheskaiia nasledstvennost pri obrabotke vysokotochnykh detalei [Rigidity and technological heredity in the processing of precision parts]. Proceedings of the Conference : «Zhestkost mashinostroitelnykh onstrukcii» – All-Union Scientific and Technical Conference «Rigidity of machine-building constructions». (pp. 27–29). Briansk [in Russian].
2. Kuznetsov, Yu. N., Khamuiela Zhoakin, A. G., Poparov, A. (2013). Genetiko-morfologicheskii podkhod k sozdaniiu i prognozirovaniuu razvitiia zazhimnykh mekhanizmov dlia vrashchaisushchikhsia detalei [Genetic-morphological approach to the creation and forecasting of the development of clamping mechanisms for rotating parts]. Journal of the Technical University – Sofia Plovdiv branch, Bulgaria „Fundamental Sciences and Applications”, 19 (2), 7–13 [in Ukrainian].
3. Lytvyn, O. V. (2014). Tekhnolohichna systema tokarnoho verstat ta yii vplyv na obrobku nezhorstkykh detalei [The technological system of the lathe and its influence on the processing of non-

rigid parts]. *Visnyk SevNTU. Serii: Mashynopryladobuduvannia ta transport – Visnyk SevNTU. Series: Machinery and equipment and transport. Sevastopol*, 151, 81–87 [in Ukrainian].

4. Voronenko, O. H., Lytvyn, O. V. (2015). *Tsanhovyi patron [Tsangoy chuck]*. Patent UA No. 100461 [in Ukrainian].

UDK 621.941

Oleksandr Litvin, Iryna Yashchuk

## JUSTIFICATION OF THE PARAMETERS OF THE CHUCK CARTRIDGE FOR FASTENING OF ARTIFICIAL BILLETS

**Urgency of the research.** Clamping pins are widely used for fastening workpieces when machined on lathes. Ensuring stability of the power characteristics, characteristics of the rigidity and accuracy of the clamping, improving the clamping reliability is an urgent problem.

**Target setting.** Increasing the accuracy of machine tools contributes to increasing the competitiveness of machine-building products. Constructive performance, the quality of the manufacture of the clamping device determines in many respects its power characteristics, as well as the accuracy, stiffness and power parameters of the clamping of the workpiece both in statics and in dynamics.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Tsang's clamping cartridges are known and used for quite a long time and their research is devoted to a significant number of publications and studies that are important for obtaining the characteristics of cartridges and assess their performance. The deviation of the clamping diameter leads to a change in the characteristics of the clamping chuck cartridge in 2...3 or more times.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Previously, the research was based on and was carried out on rod billets, and the designs of chuck cartridges for short artificial billets were practically not explored.

**The research objective.** The distribution of the power characteristics of the clamping chuck is also determined by the design of the clamping actuator of the machine, as well as the details of fastening the parts. Uniform clamping cartridges are used, in which the so-called "basic" parts remain unchanged, and parts that interact with the workpiece are changed.

**The statement of basic materials.** The process of clamping in a uniform chamber cartridge of blanks with different deviations from the nominal size is considered, calculation formulas are given for determining the clamping force. The analysis allows us to conclude that when clamping blanks of larger diameter there is an additional component of the clamping force, which increases the total clamping effort.

**Conclusions.** The theoretical bases of calculation and principles of designing a collet cartridge for artificial parts are developed at designing. Given the nonlinearity of frictional forces and the presence of an elastic - frictional joint, the features of the clamping process of an artificial part are determined.

**Keywords:** clamping chuck; synthesis structures; wood goals; morphological analysis; morphology; structural and functional diagram; search methods.

Fig.: 7. References: 4.

УДК 621.941

Александр Литвин, Ирина Яцук

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦАНГОВОГО ПАТРОНА ДЛЯ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ШТУЧНЫХ ЗАГОТОВОК

**Актуальность темы исследования.** Зажимные цанговые патроны широко применяется для закрепления заготовок при обработке на токарных станках. Обеспечение стабильности силовых характеристик, характеристик жесткости и точности зажима, повышение надежности зажима является актуальной проблемой.

**Постановка проблемы.** Повышение показателей точности станков способствует повышению конкурентоспособности продукции машиностроения. Конструктивное исполнение, качество изготовления зажимного патрона определяет во многом его силовые характеристики, а также точность, жесткость и силовые параметры зажима заготовки как в статике, так и в динамике.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Цанговые зажимные патроны известны и используются довольно долго и их исследованию посвящено значительное количество публикаций и исследований, которые важны для получения характеристик патронов и оценки их работоспособности. Отклонение диаметра зажима ведет к изменению характеристик зажимного цангового патрона в 2...3 и более раз.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Ранее проведенные исследования основывались и были проведены на прутковых заготовках, а конструкции цанговых патронов для коротких штучных заготовок практически не были исследованы.

**Постановка задачи.** Разброс силовых характеристик зажимного патрона определяется также конструкцией плову зажима станка и отклонением поверхности закрепленной детали. Используются унифицированные зажимные патроны, в которых так называемые «базовые» детали остаются неизменными, а меняются детали, которые взаимодействуют с заготовкой.

**Изложение основного материала.** Рассмотрен процесс зажима в унифицированном цангового патрона заготовок с различным отклонением от номинального размера, приведены расчетные формулы для определения силы зажима. Анализ позволяет сделать вывод о том, что при зажиме заготовок большого диаметра появляется дополнительная составляющая силы зажима, которая усиливает суммарное усилие зажима.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Выводы в соответствии со статьей.** Разработаны теоретические основы расчета и принципы проектирования цангового патрона для искусственных деталей, которые позволяют при проектировании с учетом нелинейности сил трения и наличии упруго-фрикционного шарнира определить характеристики процесса зажима штучной детали.

**Ключевые слова:** цанговый патрон; жесткость; усилие зажима; патрон деталь; расчетная схема.

Рис.: 7. Библ.: 4.

**Литвин Олександр Валеріанович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 252056, Україна).

**Литвин Александр Валерианович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт» (просп. Победы, 37, г. Киев, 252056, Украина).

**Litvin Oleksandr** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Department of Design Tools and Machines, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 252056 Kyiv, Ukraine).

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

**Ящук Ірина Романівна** – аспірант кафедри конструювання верстатів та машин, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 252056, Україна).

**Ящук Ирина Романовна** – аспирант кафедры конструирования станков и машин, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», (просп. Победы, 37, г. Киев, 252056, Украина).

**Yashchuk Iryna** – PhD student of Department of Design Tools and Machines, National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute” (37 Peremohy Av., 252056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** ira\_profkom@ukr.net



УДК 620.179:534.6

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-41-47

Антон Хоменко, Олександр Космач

**МОДЕЛЮВАННЯ РУЙНУВАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ  
У ВИПАДКУ СКЛАДНОГО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ**

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку машинобудування ґрунтуються на використанні прогресивних матеріалів, які мають суттєві переваги у порівнянні з традиційними матеріалами. Дослідження характеру руйнування таких матеріалів під дією експлуатаційних навантажень на стадії проектування виробу забезпечує визначення терміну безвідмовної роботи та працездатності механізмів. Тому існує необхідність дослідження кінетики руйнування композиційних матеріалів при зародженні мікроруйнувань, що відповідає активаційному процесу повного руйнування вузла машини.

**Постановка проблеми.** Дослідження руйнування композиційних матеріалів ґрунтуються на концепціях представлення однорідності структури, багатоконпонентного матеріалу та його фізико-механічних властивостей. Проблема створення математичних моделей, які описують руйнування композиційних матеріалів, а також методів його контролю, наприклад, за ультразвуковими зміцненнями поверхонь, додатково пов'язана з різноманітними математичними апаратами, що описують кінетику руйнування таких матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи концепцію руйнування композиційних матеріалів у вигляді пучка волокон.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дослідження кінетики мікроструктурних руйнувань поверхонь композиційних матеріалів у випадку складного напруженого стану.

**Постановка завдання.** Підвищення достовірності визначення характеру руйнування композиційних матеріалів у випадку складного напруженого стану ґрунтується на розробці моделі, яка враховує характер зміни напруженого стану мікроелементів, а також зміну кількості незруйнованих мікроелементів у часі до повного руйнування зразка.

**Виклад основного матеріалу.** Проведені теоретичні дослідження руйнування волокнистого композиційного матеріалу у випадку складного напруженого стану, який відповідає поперечному навантаженню, що дозволяє встановити закономірності його руйнування в часі залежно від факторів, що впливають. Отримані результати моделювання дозволяють оцінити розподіл міцності та живучість композиційного матеріалу на кожній стадії його руйнування.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблена модель руйнування композиційного матеріалу у випадку складного напруженого стану дозволяє оцінити характер руйнування мікроелементів багатоконпонентного матеріалу в часі, а також виявити шляхи підвищення міцності з урахуванням діючих силових навантажень на досліджуваній зразок.

**Ключові слова:** композиційний матеріал; волокно; форма; навантаження; напруження; міцність; руйнування.

Рис.: 3. Бібл.: 5.

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток сучасного машинобудування спрямований на використання матеріалів, які мають високу міцність, низьку вагу, малу вартість, а також простоту технологію виготовлення. До таких матеріалів відносять композиційні матеріали різної структури. Такі матеріали мають суттєві переваги в порівнянні з традиційними матеріалами завдяки широкому варіюванню властивостей у межах окремих структурних груп. Дослідження фізико-механічних характеристик та характеру руйнування таких матеріалів під дією експлуатаційних навантажень на стадії проектування технічних систем забезпечує достовірне визначення ресурсу майбутніх деталей та вузлів. Тому актуальним для цієї групи матеріалів є дослідження кінетики руйнування при утворенні мікроруйнувань, що відповідає активаційному процесу повного руйнування зразків.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку проектування машин для забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик, машинобудівна галузь має потребу в більш міцних та зносостійких матеріалах. Нині для вирішення цієї задачі в різних галузях техніки широкого застосування набувають композиційні матеріали (КМ). Дослідження міцності на стадії проектування, методи контролю та діагностики таких КМ у процесі експлуатації є різноманітними та потребують окремої уваги. Одним з найперспективніших та малодосліджених є метод акустичної емісії (АЕ). Суть цього методу полягає в дослідженні пружних зміщень, що виникають у КМ у процесі його руйнування. Проблема створення математичних моделей, які описують сигнали АЕ, пов'язана з наявністю різноманітних концепцій руйнування суцільного й багатоконпонентного матеріалу та різноманітних математичних апаратів, що описують кінетику руйнування матеріалу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для дослідження процесів руйнування КМ широке застосування знайшла волоконна модель матеріалу, згідно з якою матеріал представляється у вигляді пучка волокон (FBM – fiber bundle model) [1–4]. Ця модель описує руйнування КМ як послідовне руйнування волокон у пучку з подальшим перерозподілом напружень на волокна, що залишилися незруйнованими в процесі навантаження.

Модель руйнування КМ залежить від: розрахункової (силової) схеми цієї моделі (виду навантаження), форми поперечного перерізу волокон елементарних об'ємів (прямокутні, трикутні круглі і т. ін.), а також хімічної структури та однорідності КМ.

Модель міцності КМ може бути представлена за методиками загальних інженерних підходів, та кінчено-елементного аналізу, що дозволить отримати багатофакторну модель руйнування. У такому випадку розглядають розподіл напружень не лише як функції, викликані зовнішнім навантаженням, а як такі, що можуть викликати додаткове навантаження без будь-яких фізичних дій на об'єкт.

Тобто зовнішнє навантаження, що прикладене до об'єкта в одному напрямку, через неможливість деформації системи (введене додаткове геометричне обмеження) викликає в об'єкті додаткові напруження, що спричиняє статичну невизначеність системи.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Сучасні математичні моделі, що описують процес руйнування КМ, спираються на стохастичність явищ, що виникають у процесі руйнування елементів. Грунтуючись на рівнозначності процесів руйнування КМ від різного виду напружень, такі математичні моделі неповною мірою правильно описують фізичну сутність процесу руйнування. Також цим моделям притаманна ідеалізація матеріалу, форми, розташування волокон та наповнювача КМ тощо. Це призводить до виникнення суттєвих похибок розрахунку та значно ускладнює обґрунтований вибір параметрів КМ (коефіцієнта запасу міцності, модуля пружності одичного волокна і наповнювача, коефіцієнта концентрації волокон та ін.).

З цього погляду актуальним є розробка моделі руйнування КМ, яка враховує характер зміни напруженого стану елементів, а також враховує зміну кількості незруйнованих волокон у часі до повного руйнування. У такому випадку модель руйнування КМ повинна враховувати як зовнішні силові чинники, так і геометричні характеристики елементів КМ та їх фізико-механічні характеристики на рівні структури матеріалу.

**Постановка завдання.** Метою статті є моделювання та аналіз процесу руйнування КМ, який розглядається у вигляді пучка волокон, для складного напруженого стану навантаженого зразка під дією поперечної сили.

**Виклад основного матеріалу.** У випадку використання волокнистої моделі руйнування КМ при поперечному навантаженні, суцільний об'єм матеріалу можна представити у вигляді деякої визначеної кількості волокон, які розташовуються на однаковій відстані одне від одного та мають однакові фізико-механічні властивості (рис. 1, а). Модель руйнування одного волокна з застосуванням методик кінчено-елементного аналізу дає можливість описати загальну міцність КМ у часі. Наприклад, у найпростішому випадку таку модель можна представити як волокно квадратного поперечного перерізу, яке защемлене з обох боків жорсткими опорами та навантажене поперечними силами  $\omega$ , які викликають його згин (рис. 1, б).

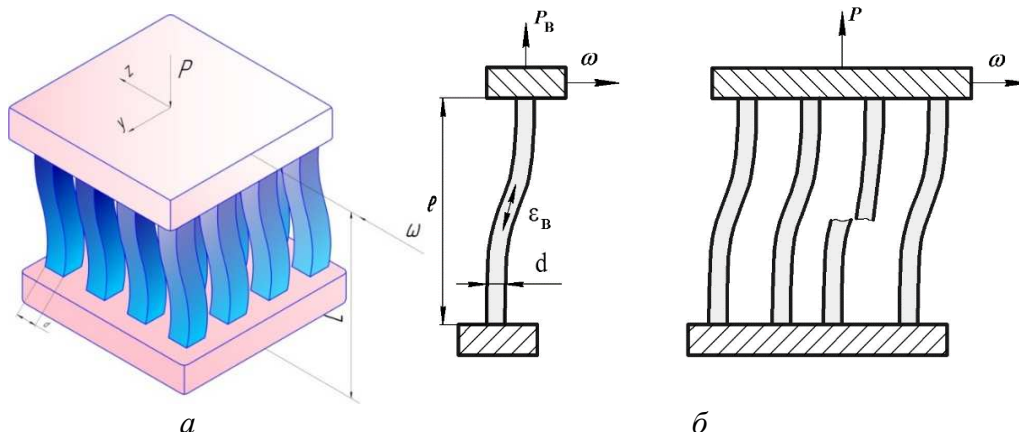


Рис. 1. Представлення однорідного композиційного матеріалу у вигляді сукупності волокон (а) та розрахункова схема навантаження одного волокна та групи волокон згідно з моделлю (б):

$P$  – поздовжня або розтягуюча сила;  $d$  – геометричні розміри одного елемента;  $l$  – відстань між закріпленими нерухомими блоками;  $\omega$  – поперечне зусилля;  $L$  – загальна довжина одного волокна

Розроблена модель руйнування КМ враховує розрахункову схему, розподіл напружень у системі, характер деформування, а також фізико-механічні характеристики волокон та наповнювача (рис. 2).

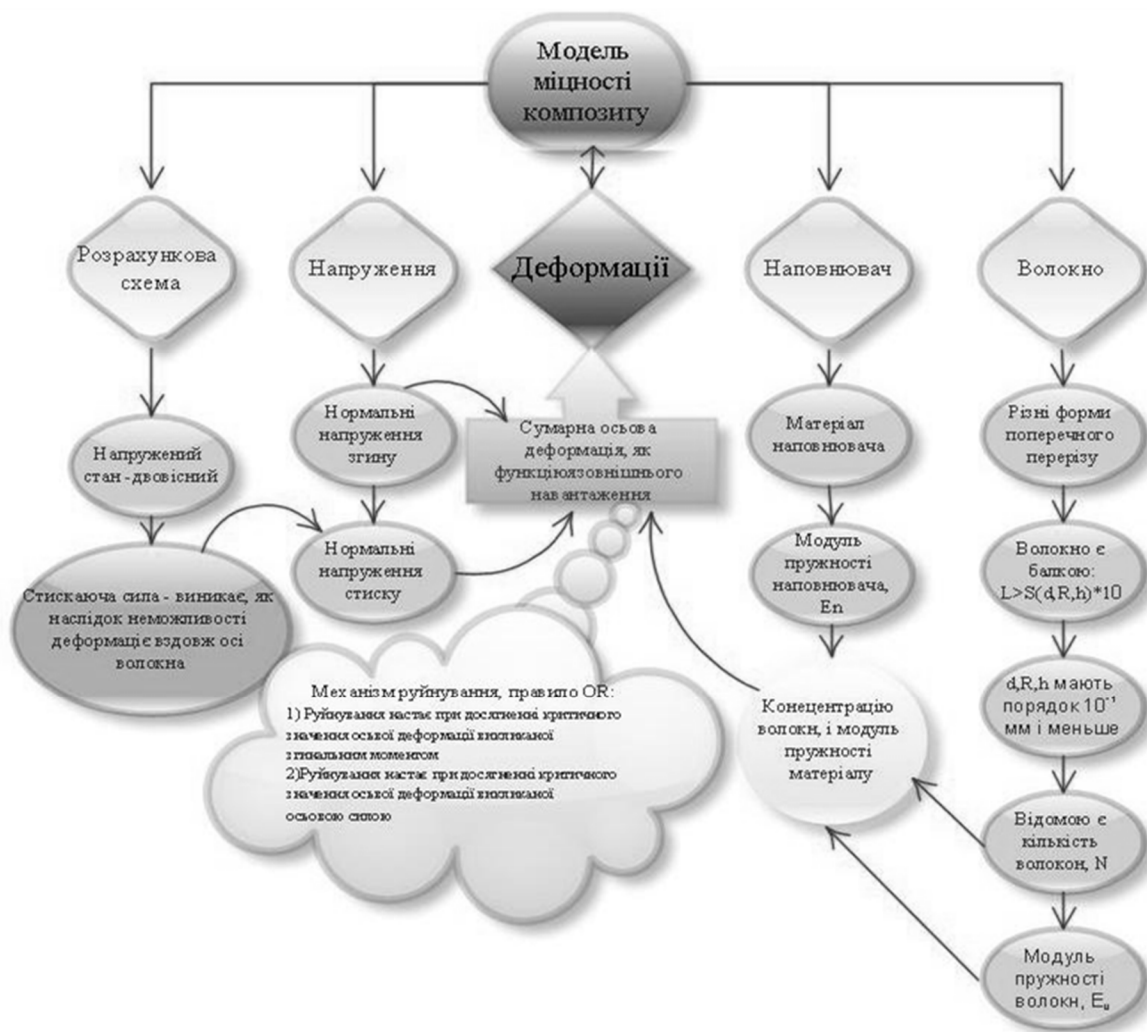


Рис. 2. Аспекти моделі руйнування композиційного матеріалу

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

За такої схеми навантаження та закріплення в опорах виникатимуть реакції (сили та моменти сил), від яких також по довжині волокна виникатимуть нормальні напруження. Математична модель руйнування КМ враховує таке:

- розрахункову схему (схему навантаження) дослідного зразка;
- форму поперечного перерізу волокон (прямокутна, кругла, шестикутна та ін.);
- механічні властивості волокон та наповнювача;
- схильність КМ до пластичного та крихкого руйнування волокон та наповнювача;
- концентрацію волокон у структурі КМ;
- ймовірності руйнування від різного роду напружень.

Модель враховує будь-яку, довільну форму поперечного перерізу волокна, однак припускає, що всі волокна мають однакову форму, та сталі розташування відносно центральних осей загального перерізу матеріалу.

Фізична частина моделі будується на основі розрахункової схеми одного волокна (рис. 1, б), що залишається незруйнованим, поки навантаження не стане критичним та не призведе до початку необоротного руйнування [5].

Інша частина математичної моделі опису процес руйнування матеріалу після повного руйнування першого волокна та враховує ймовірності руйнування кожного наступного волокна від напружень різного роду.

Згідно з розробленою моделлю залежність зміни напружень у часі до початку руйнування описується рівнянням виду:

$$\sigma = (\varepsilon_0 + k \cdot t) \cdot \left( E_v \cdot \left( \frac{S_v \cdot N}{S_{vn}} \right) \right) + \left( 1 - \left( \frac{S_v \cdot N}{S_{vn}} \right) \cdot E_n \right) \cdot (1 - E_v \cdot S_v \cdot (\varepsilon_0 + k \cdot t)) \cdot \left( 1 - \frac{E_v \cdot I_v \cdot \sqrt{60} \cdot \sqrt{(\varepsilon_0 + k \cdot t)}}{L} \right),$$

де,  $\varepsilon_0$  – початкова осьова деформація системи;  $k$  – коефіцієнт навантаження;  $t$  – час;  $E_v$  – модуль пружності волокна;  $S_v$  – площа поперечного перерізу волокна;  $N$  – початкова кількість волокон;  $S_{vn}$  – загальна площа перерізу;  $E_n$  – модуль пружності наповнювача;  $I_v$  – момент інерції перерізу волокна;  $L$  – довжина волокна.

Кількість незруйнованих волокон  $N_{\text{int}}$ , в певний момент часу описує функція:

$$N_{\text{int}} = N \cdot e^{-V_0 \cdot \int_{t_0}^t e^{r \cdot (\sigma(t, k, \varepsilon_0, E_v, E_n, S_v, S_{vn}, N, I_v, L) - \sigma(t_0, k, \varepsilon_0, E_v, E_n, S_v, S_{vn}, N, I_v, L))} dt}$$

де  $t_0$  – час початку руйнування;  $V_0$  та  $r$  – параметри фізико-механічних властивостей КМ.

Напруження  $\sigma_{\text{int}}$ , що виникає у КМ у процесі його руйнування, описується виразом виду:

$$\sigma_{\text{int}} = \frac{N}{N_{\text{int}}} \cdot \sigma_{\text{adm}},$$

де  $\sigma_{\text{adm}}$  – критичне напруження руйнування.

Залежність кількості незруйнованих елементів КМ (рис. 3, а), а також зміна напружень у процесі руйнування (рис. 3, б) у часі проілюстровані для умовного матеріалу, який складається з 50 волокон. Параметри моделі відповідають схильності матеріалу до крихкого руйнування та має не високу нерівномірність фізико-механічних властивостей. Навантаження КМ було неперервним та лінійно зростаючим з визначеною постійною швидкістю.

Результати моделювання показують, що руйнування елементів КМ має релаксаційний характер падіння. При цьому руйнування елементів КМ характеризується двома стадіями, які характеризуються різною швидкістю. Перша стадія (рис. 3, а) руйнування має дуже низьку швидкість та характеризується поступовим зростанням напруження. Слід зазначити, що на рис. 3 представлені результати з часовим проміжком від початку руйнування першого елемента КМ, а початок навантаження зразка КМ починався з нульової відмітки часу.

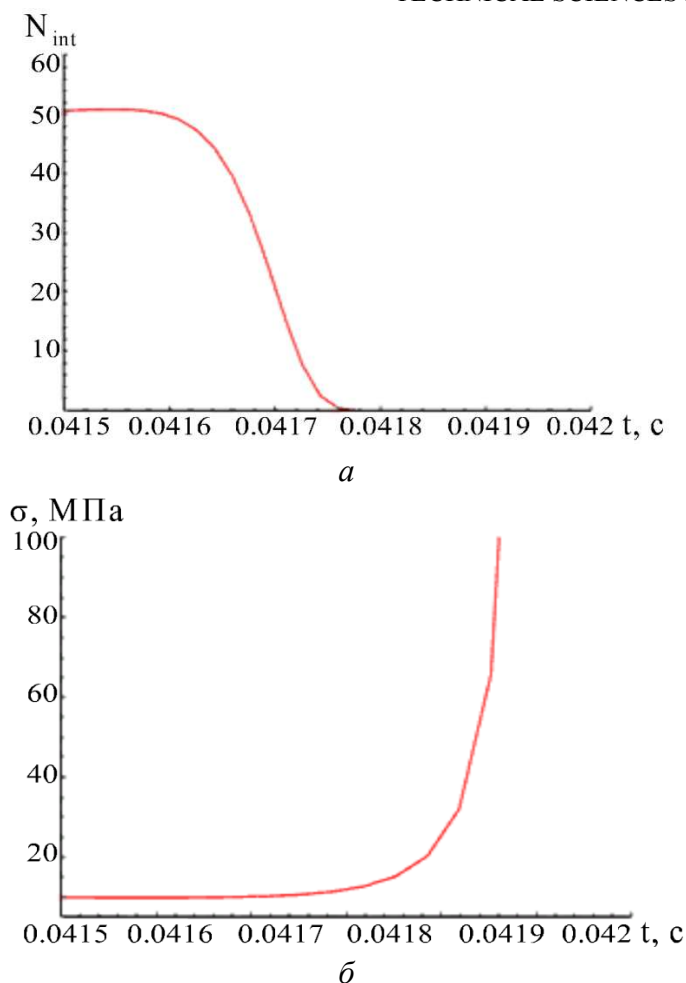


Рис. 3. Закономірності зміни незруйнованих волокон у часі (а), а також закономірності зміни напружень (б) при руйнуванні композиційного матеріалу поперечною силою

З результатів моделювання також видно, що друга стадія руйнування КМ характеризується високою швидкістю, причому їй відповідає різке зростання напруження в часі (рис. 3, б).

Тривалість часу руйнування елементів КМ дуже мала, що відповідає характеру руйнуванню крихких матеріалів. Так, наприклад, відношення часу повного руйнування КМ до часу навантаження зразка матеріалу становить величину близьку  $10^{-3}$ .

**Висновки відповідно до статті.** Розроблена модель руйнування КМ, яка враховує зміну кількості залишених елементів у часі. КМ у такому випадку представлено у вигляді пучка волокон при протіканні процесу руйнування елементів в умовах дії поперечного навантаження.

Показано, що при розвитку руйнування волокон КМ крива зміни кількості залишених елементів має неперервний характер падіння. Неперервність процесу руйнування супроводжується неперервністю зростання напруження на елементах КМ.

Руйнування КМ характеризується двома стадіями руйнування, які мають різну швидкість. Загальне руйнування КМ має релаксаційних характер падіння. Аналіз результатів моделювання за умови постійності навантаження показав таке: зі зменшенням кількості незруйнованих елементів КМ відбувається нелінійне зростання напруження в часі, а також швидке протікання самого процесу.

Отримані результати моделювання узгоджуються з існуючими уявленнями про руйнування крихких матеріалів.

Особливий інтерес становить дослідження характеру руйнування елементів КМ при зміні геометричних мікроструктурних показників матеріалу, а також його фізико-механічних характеристик.

### Список використаних джерел

1. *Shcherbakov R.* On modeling of geophysical problems :a dissertation for degree of doctor of philosophy / Robert Shcherbakov. – Cornell university, 2002. – 209 p.
2. *Kun F.* Damage in fiber bundle models / F. Kun, S. Zapperi, H. J. Herrmann // *Eur. Phys. J. B.* – 2000. – Vol. 17, No 2. – P. 269–279.
3. *Kun F.* Damage development under gradual loading of composites / F. Kun, H. J. Herrmann // *Journal of Materials Science.* – 2000. – P. 35.
4. *Raischel F.* Local load sharing fiber bundles with a lower cutoff of strength disorder / F. Raischel, F. Kun, H. J. Herrmann // *Phys. Rev. E.* – 2006. – Vol. 74 (2), № 3. – P. 4.
5. *Модель сигнала акустической эмиссии при разрушении композиционного материала под действием поперечной силы / С. Ф. Филоненко, В. М. Калита, А. П. Космач, Т. Н. Косицкая // Технологические системы.* – 2010. – № 2 (51). – С. 45–53.

### References

1. Shcherbakov, R. (2002). *On modeling of geophysical problems :a dissertation for degree of doctor of philosophy.* Cornell university [in English].
2. Kun, F., Zapperi, S. & Herrmann, H. J. (2000). Damage in fiber bundle models. *European Physical Journal*, 2 (17), 269–279 [in English].
3. Kun, F. & Herrmann, H. J. (2000). *Damage development under gradual loading of composites.* Journal of Materials Science (pp. 35) [in English].
4. Raischel, F., Kun, F. & Herrmann, H. J. (2006). Local load sharing fiber bundles with a lower cutoff of strength disorder. *Physical Rev E*, 74 (2), 3, 4 [in English].
5. Filonenko, S., Kalyta, V., Kosmach, A. & Kosytska, T. (2010). Model signala akusticheskoi emissii pri razrushenii kompozitsionnogo materiala pod deistviem poperechnoi sily [The model of the acoustic emission signal at fracture of the composite material under the action of transverse force]. *Tekhnologicheskie sistemy – Technological systems*, 2 (51), 45–53 [in English].

UDC 620.179:534.6

*Anton Khomenko, Aleksandr Kosmach*

## SIMULATION OF DESTRUCTION OF COMPOSITE MATERIALS IN CASE OF COMPLEX STRENGTH CONDITION

**Urgency of the research.** Modern trends in the development of mechanical engineering, based on the usage of advanced materials, which have significant advantages over traditional materials. Study of the destruction nature of such materials under the influence of operational loads at the design stage of the product ensures the determination of the period of failure-free operation and the working capacity of the mechanisms. Therefore, there is a need to study the kinetics of fracture of composite materials in the initiation of microfractures, which corresponds to the activation process of complete destruction of the machine assembly.

**Target setting.** Investigation of the destruction of composite materials is based on the concepts of the representation of the homogeneity of the structure, the multicomponent material and its physico-mechanical properties. The problem of creating of mathematical models, which describe the destruction of composite materials, as well as methods of its control, for example, ultrasonic displacements of surfaces, is additionally associated with various mathematical apparatus, describing the kinetics of the destruction of such materials.

**Actual scientific researches and issues analysis.** We were considered the latest publications with publicly available, including the concept of fracture of composite materials in the form of a fiber bundle.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Study of the kinetics of microstructural destruction of composite materials surfaces in the case of a complex stress state.

**The research objective.** The increase in the reliability of the determination of the fracture nature of composite materials in the case of a complex stress state is based on the development of a model that takes into account the nature of the stress state of microelements, as well as the change in the amount of intact microelements in time until the sample is completely destroyed.

**The statement of basic materials.** Theoretical study of the destruction of fibrous composite material in the case of a complex stressed state that corresponds to the transverse loading, which allows establishing the laws of its destruction in time, depending on the influence factors was conducted. Were obtained simulation results that allow estimating the distribution of strength and durability of composite material at each stage of its destruction.

**Conclusions.** The developed model of destruction of composite material in the case of a complex stress state allows to estimate the nature of the destruction of the elements of multicomponent material in time, as well as to identify ways to increase strength, taking into consideration the current force loads on the sample.

**Keywords:** composite material; fiber; shape; gravity; pressure; strength; destruction.

Fig.: 3. References: 5.

УДК 620.179:534.6

*Антон Хоменко, Александр Космач***МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
В СЛУЧАЕ СЛОЖНОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ**

**Актуальность темы исследования.** Современные тенденции развития машиностроения, основанные на использовании прогрессивных материалов, которые имеют существенные преимущества по сравнению с традиционными материалами. Исследование характера разрушения таких материалов под действием эксплуатационных нагрузок на стадии проектирования изделия обеспечивает определение срока безотказной работы и работоспособности механизмов. Поэтому существует необходимость исследования кинетики разрушения композиционных материалов при зарождении микроразрушений, что соответствует активационному процессу полного разрушения узла машины.

**Постановка проблемы.** Исследование разрушения композиционных материалов основано на концепциях представления однородности структуры, многокомпонентного материала и его физико-механических свойств. Проблема создания математических моделей, описывающих разрушения композиционных материалов, а также методов его контроля, например, ультразвуковыми смещениями поверхностей, дополнительно связана с различным математическим аппаратом, описывающим кинетику разрушения таких материалов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая концепцию разрушения композиционных материалов в виде пучка волокон.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Исследование кинетики микроструктурных разрушений поверхностей композиционных материалов в случае сложного напряженного состояния.

**Постановка задачи.** Повышение достоверности определения характера разрушения композиционных материалов в случае сложного напряженного состояния основано на разработке модели, учитывающей характер изменения напряженного состояния микроэлементов, а также изменение количества неповрежденных микроэлементов во времени до полного разрушения образца.

**Изложение основного материала.** Проведены теоретические исследования разрушения волокнистого композиционного материала в случае сложного напряженного состояния, который соответствует поперечной нагрузке, позволяет установить закономерности его разрушения во времени в зависимости от влияющих факторов. Полученные результаты моделирования позволяют оценить распределение прочности и живучесть композиционного материала на каждой стадии его разрушения.

**Выводы в соответствии со статьей.** Разработанная модель разрушения композиционного материала в случае сложного напряженного состояния позволяет оценить характер разрушения микроэлементов многокомпонентного материала во времени, а также выявить пути повышения прочности с учетом действующих силовых нагрузок на исследуемый образец.

**Ключевые слова:** композиционный материал; волокно; форма; нагрузка; напряжение; прочность; разрушение.

Рис.: 3. Библ.: 5.

**Космач Александр Павлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий машиностроения та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Космач Александр Павлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kosmach Aleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Technologies of Mechanical Engineering and Woodworking Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** alexkos86@gmail.com

**Хоменко Антон Сергійович** – магістрант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Хоменко Антон Сергеевич** – магистрант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Khomenko Anton** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

*Oleg Pilipenko***RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES OF MACHINE ELEMENTS PRODUCTION**

**Urgency of the research.** Most machines require perfection of their drives for the decline of resource-demanding and energy consumption at an acceleration and braking of drive elements. On making of such elements of drives, as gears, sprockets, chains, the third is expended and more than of labour intensiveness of production, necessary for the production of mechanisms and machines. Therefore a problem of decline of resource-demanding and energy consumption of drives application of polymeric composites is actual for the production of machine elements.

**Target setting.** Development and mastering of technological processes on the decline of resource-demanding and energy consumption of machine drives by application of polymeric materials instead of metallic.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Efficiency of application of polymeric composites for making of polymeric machine elements is shown had an experience of exploitation of drives, equipped by such elements, both abroad and in a home engineer.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Philosophy of constructing and technology of polymeric machine elements on the concrete examples of the worked out constructions.

**The research objective.** Consideration of the worked out and made types of sprockets, gears and chains from polymeric composites from the point of view of their constructing and technology of making.

**The statement of basic materials.** Machine elements being produced on resource-saving technologies for mechanical engineering and can be used in the chain and gear drives which are a part of mechanisms of robots, polygraph, textile, food-processing, agricultural and other machines are considered. Some types of polymeric and metallic-polymeric chains, sprockets, gears are given. Integrated constructions, manufacturing and operation of machine elements out of polymeric composites are presented.

**Conclusions.** Application of integrated constructions of polymeric machine elements and their production for one technological operation casting under pressure on injection automatic machines enables cardinaly (in times, but not on percents) to reduce labour intensiveness of production of machine elements, getting the row of advantages of structural, technological and operating character here.

**Keywords:** resource-saving technologies; polymeric and metal-polymeric sprockets; gears; chains.

**Fig.:** 10. **References:** 6.

**Introduction.** At the basis of a modern technological civilization ability to make more and more products lays at their decrease material and energy consumption. The successful decision economic, energy and ecological problems is in many respects predetermined by application of new constructional materials, in particular, polymeric composites, for manufacture of machine elements [1].

In mechanical engineering machine elements of drives were traditionally made out of steel, that in many cases it is inexpedient. For example, chain drives, gears out of polymeric composites find more and more wide application thanks to high reliability and constructive simplicity in all areas of mechanical engineering, in particular, in robot-building, textile, polygraphic, food-processing, agricultural mechanical engineering. They possess necessary flexibility, work without vibrations, appreciably decreasing working noise, lubrication do not demand, are capable to amortize easy pushes and impacts, have smaller, than belt drives, dimensional and weight characteristics, and also can be used in wide enough range of speeds and loadings. Manufacturing of machine elements out of polymeric composites is little-waste and not very energy-consuming. From them is easier make machine elements of complicated shape, they are so technological, that give the chance to create the so-called integrated parts, which manufacture out of metal much more expensively or in general it is impossible. As density of polymeric composite materials several times below steel density, the moments of inertia of parts and energy consumption for speeding up and braking as consequence decrease that allows to raise frequency of rotation.

In view of limitation of energy and material resources the basic source of increase of the national income should become resource saving, i.e. the considerable volume of production should be made without a gain of material resources at the expense of their economy. Materials consumption a finished article – an end-product of multiphase process of its manufacture – includes the last work embodied in used materials. Than less material it is required for manufacturing of a concrete machine element, its design and the technology of production are especially perfect. To reduce materials consumption products it is possible, having raised quality of designing by



optimization of their parameters, in particular, weight of constructions. The same purpose is served by application of new technological processes with high operating ratio of materials, volume forming machine elements for one technological operation, allowing receive not only ready elements without any subsequent processing, but also the integrated elements replacing with self of several elements of traditional manufacturing, based on serial processing of surfaces by cutting. Same increase of qualitative and functional characteristics of initial raw materials, its fuller use, including processing of a waste of the basic production promotes.

The laboratory of polymeric machine elements at chair of Machine Design Fundamentals CSTU had been carried out designing and introduction in a batch production on a number of the machine-building enterprises of Ukraine, Russia and Belarus driven and tension sprockets, gears out of polymeric composites. As a result of the conducted works losses from corrosion, vibrations and working noise (10-25 %) have been lowered metal and power consumption drives on 12-15 %, was reduced lathe park and floor spaces, labor productivity (at 6-10 time) has cardinally raised and the cost price of manufacturing of elements has decreased (on the average in 2,5 times), the operating ratio of materials to 0,95 as a result of application highly productive and little-waste technology of elements of drives by molding under pressure on injection automatic machines out of polymeric composites has raised [2].

**The purpose of the present paper** is to consider some sprockets, chains and gears out of polymeric composites according to its design and technology.

#### **The statement of basic materials.**

**Design philosophy.** Manufacturing of chain drives and their elements out of polymeric composites according to the constructions similar metal, in most cases is impossible because of differences in technological and physical-mechanical properties of materials. The method of structurally functional designing has been applied to creation of constructions of elements of chain drives with necessary technological and operational characteristics [2].

Designing of chain drives elements out of polymeric composites is closely connected with designing of molds for their injection molding under pressure on injection automatic machines and technology of processing of polymeric materials in a product [3–5]. Presented further design of sprockets and chains out of polymeric composites are shown that its design philosophy differ first of all by application of elastic deformation polymeric materials. Links of the offered design can be made by injection molding under pressure on injection automatic machine out of polymeric composites during one technological operation.

The basic requirements shown to constructions of machine elements out of polymeric materials, produced by injection molding under pressure, look as follows.

1. A machine element should have technological biases.
2. In machine elements undercuts are inadmissible.
3. Tolerances should be technically proved, i.e. are calculated taking into account physical-mechanical characteristics of applied materials.
4. Elements, whenever possible, should not have cantilever portions.
5. The shape of machine elements should to provide, whenever possible, application of all-in-one matrixes and punches.
6. The configuration of machine element should not inhibit to free filling of a die-casting mould by melt.
7. The most responsible elements, whenever possible, should not get to a plane of the parting mold.
8. The machine element should have the roundings off necessary for increase of mechanical strength, simplification of process forming and appearance improvements.
9. Webs should be probably thin and an equal thickness.

Except these requirements, at creation of new constructions of chain drives elements possibility of execution of machine elements integrated was used, i.e. one monolithic element

produced for one technological operation, can include the maximum number of structurally functional elements. So, at designing and manufacturing of chains their links represented monolithic machine elements.

After creation of basic constructions design parameters of created elements at which definition possibility of their work together with standard elements of chain drives was pawned have been established. It became for the purpose of a possibility of their further use in the available equipment and for reception of more exact comparative characteristics. Such design parameters are: a chain step, the shape and the sizes of elements of engagement, distance between internal plates. They coincided with corresponding elements of roller chains in accordance with ГОСТ 13568-75 and sprockets in accordance with ГОСТ 592-81. The corresponding equipment for manufacture of links of chains and sprockets of the developed constructions by injection molding method under pressure on injection automatic machines has been made. Chains made out of polymeric composites based on polyamides, have the dimensional precision corresponding to precision driving roller chains of a general application with small breaking force, and chains out of glass-filled marks have higher precision characteristic for chains at which assemblage apply a selective method.

Practice of chain drives operation shows, that in overwhelming majority of cases the useful tension of standard metal chains makes 10-20 % from their limiting (destroying) loading. Therefore it makes sense to make not only sprockets, but also chains from polymeric composites. They, though do not possess such ultimate load as metal chains, however, not only satisfy often to the most widely distributed conditions of operation, but also have advantages in weight, consumption of energy, speed, low level of noise, anticorrosive firmness and lubrication.

**Chains out of integrated elements.** As it has appeared, manufacturing of chain drives and their elements out of polymeric composites according to the constructions similar metallic (fig. 1), in most of cases it is impossible because of differences in technological and physico-mechanical properties of materials. The connections with tightness which are used practically all metallic chains, cannot be used for assemblage of chains out of polymeric materials because of easing press fits owing to a relaxation of stresses, characteristic for polymers. Besides, owing to dimensional closed state of a construction of a roller chain the increase in dangerous cross sections of plates in places of ears without substantial growth of dimensions (width) of a chain is impossible, that for chains out of polymeric materials is of great importance owing to lower strength and rigidity of constructional polymeric materials in comparison with the steels traditionally applied for this purpose.

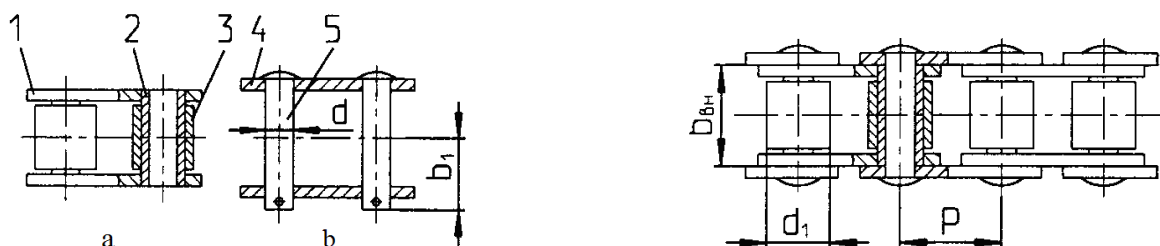


Fig. 1. Inner (a), external (b) links and design of the standard steel roller chain

Except the requirements shown to constructions of machine elements out of polymeric materials, made molding under pressure, at creation of new constructions of chain drives elements provided possibility of execution of machine elements integrated, that is one monolithic element produced for one technological operation, can include the maximum number of structurally functional elements [2].

Further some standard sizes of machine elements out of polymeric composites on the basis of polymers of polyamide group are resulted developed in polymeric machine elements laboratory of ChNUT.

Instead of six metal elements of which the link standard roller driving chain consists (fig. 1), it is made one monolithic link out of polymeric composite (fig. 2).

On fig. 2 the monolithic link of a chain in two projections, where 1 - ledges is represented; 2 – a working part of a hole; 3 – head, consisting of a hat (a) and leg (б); 4 – a hole for assemblage; 5 – symmetrically located bent plates; 6 – the roller. Size  $L$  gets out such that height  $H$  of ledges allowed to carry out assemblage.

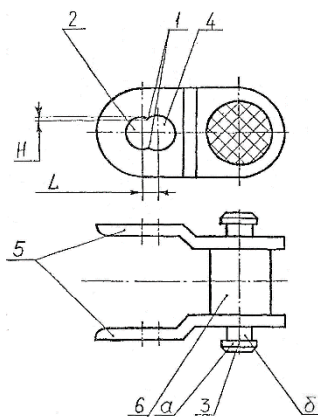


Fig. 2. Elastic monolithic link of a chain

Fig. 3. Chain out of elastic monolithic links

The corresponding equipment for manufacturing of links of chains and sprockets of the developed constructions by molding under pressure has been made.

The chains made out of polymeric composites, based on polyamides, have the dimensional precision corresponding to precision of driving roller chains of a general application with a small ultimate load, and chains out of glass-filled types have higher dimensional precision, corresponding to chains at which assemblage apply a selective method.

Only elastic deformations thus take place. In each of plates the special holes formed by two arches of various radiuses which centers do not coincide are carried out and lay on a longitudinal axis of a link. One of arches (smaller radius) is the worker, and the second (larger radius) serves for realization of assemblage of a chain. The centers of the arches forming holes are a little dissolved for formation of ledges which prevent from spontaneous dismantling of a chain. Diameter of an arch of a working part of a hole 2 and leg of head 3б are equal among themselves, and also diameters are equal: the greatest cap of head 3a and arches of a holes 4 larger radius. Chain assemblage is carried out as follows: the link is inserted by turns the heads between deformed plates of the following link. Caps of heads 3a are inserted into holes 4 (in places larger radius), and plates pass in undistorted state. By longitudinal force the heads are entered into a working part of a hole, it is elastic deforming thus ledges 1 in the middle of a hole. These ledges prevent from spontaneous dismantling of a chain.

On fig. 3 the chain with elastic monolithic links is shown. It is important to note that of such links as is shown on fig. 2 it is possible to assemble two-, three- and multiple-row chains. Example of such chains is shown on fig. 4. To use chains with elastic monolithic links on the available equipment and not to create for them special sprockets, it is necessary, that external diameter of pins was equal to diameter of rollers driving chains of type IIP according to ГОСТ 13568-75 corresponding steps. Sizes of diameters heads and radiuses of the arches forming holes in plates, can change in certain limits depending on physical-mechanical properties of an applied polymeric composite.

On fig. 4 it is shown also metal-polymeric chain which inner links are executed out of a polymeric composite in the form of one integrated monolithic machine element consisting of two cylindrical elements with holes, connected by plate-like elements, and external links in which role standard metal connecting links can serve, i.e. such chain is completely dismantlable.

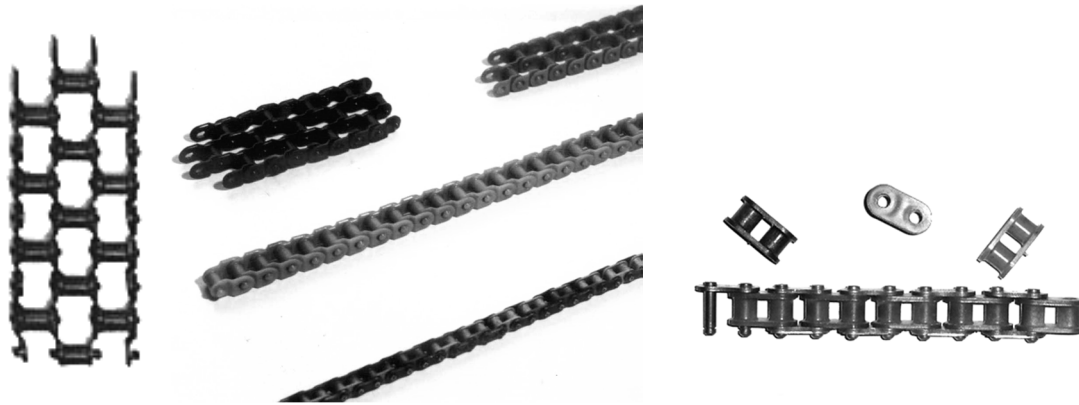


Fig. 4. Polymeric three-, two- and one-row chains (left and middle). Metal-polymeric single-row (right) with integrated monolithic inner links

On fig. 5 the chain consisting of monolithic inner links 1, external links of 2 and stainless steel coupling rods 3 is represented. Plates of links are executed by straight lines for giving of possibility of increase in their thickness without loss of ability to their assemblage in a uniform chain. Thus at assemblage the principle of elastic deformation of links is not applied any more. It is reached by introduction in a chain of a modular external link 2 which is fixed in a chain by means of the coupling rod 3, simultaneously incorporating with an inner monolithic link 1. The stress-strained state, contact stresses and other questions concerning such chains are considered in [2].

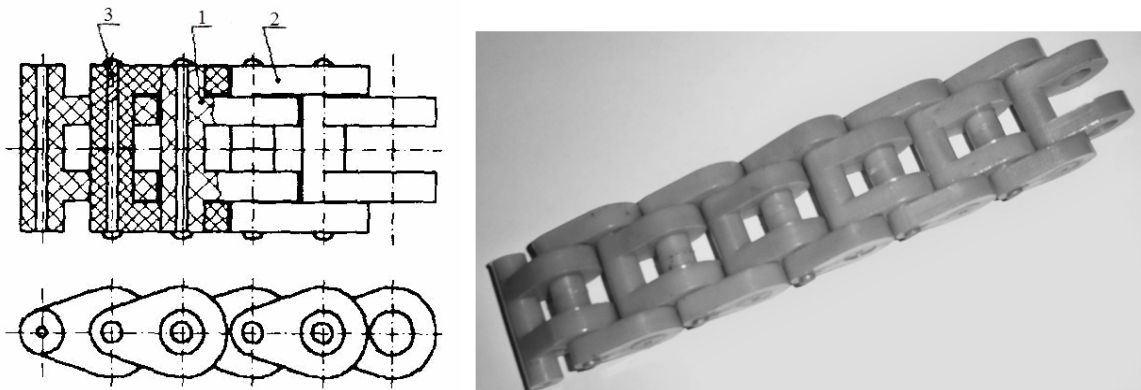


Fig. 5. Driven metal-polymeric chain

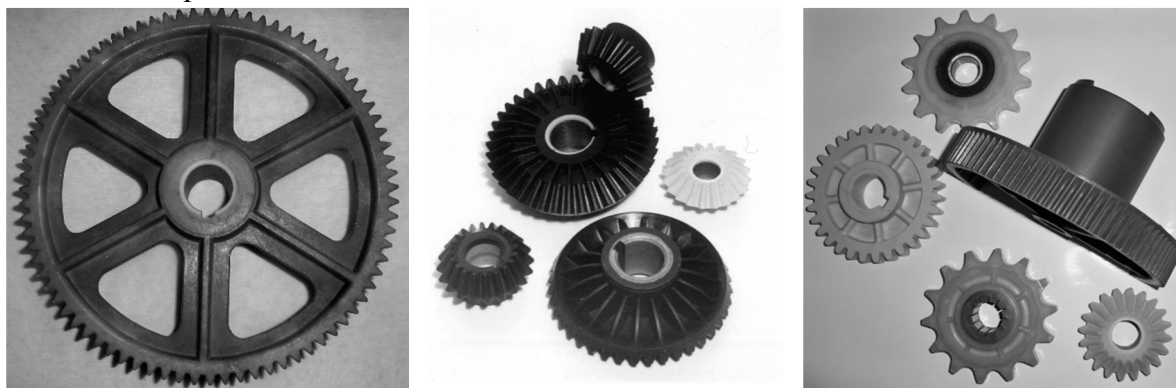
**Integrated sprockets and gears.** Deformation of a polymeric sprocket in case of the application of loading to one tooth extends and on the next teeth located both in a direction, and against a direction of rotation of a sprocket. Essential change of the stress-strained state in a body of a sprocket depending on the shape of teeth, radius of a transitive zone at a hollow is observed. Constructive changes of a sprocket for the account of introduction of thickenings of a zone of fit to a shaft lead to essential redistribution of stresses and deformations and decrease extreme stresses on an external surface of a tooth and in a sprocket body approximately in 1.5 times. A critical zone in a sprocket body is all hollow of toothed rim, and not just a working surface of a tooth, as at usual rigid metal sprockets.

Designing of sprockets from polymeric composites is a some complicated because the sizes of toothed rim are limited by the sizes of a chain, and it is impossible to increase its strength for the account of increase in width of a tooth (as in case of a gear). It is necessary to consider also the profile shape a tooth which appreciably defines as much as possible admissible speed of movement and service life of a chain and sprockets. At operation of the chain drive equipped with sprockets from polymeric composites, it is necessary to give advantage to the profile shape according to ГOCT 592-81 (rectilinear) before the profile shape it agree ГOCT 591-69 (con-

cave-convex) for some reasons, basic of which is ability of a rectilinear profile to compensate the maximum increase in a step of a chain as a result of its wear without engagement breaking.

For guarantee rigidity and prevention warping in a machine element design rigidity edges are provided. And it is necessary to notice, that rigidity edges in many cases are necessary not only at operation to resist to deformations, but also at extraction of machine elements from the form. Besides, rigidity edges are used for management of process of filling of a making out cavity and compulsory orientation melt in a necessary direction. For example, at casting of sprockets, gears or pulleys accordingly chain, gear and tooth-belt drives of an edge of rigidity in a radial direction are necessary not only for maintenance of durability of machine elements and reduction of a thickness of casting, but also for the accelerated direction of a stream melt for the purpose of qualitative formation of a gear wreath, and from both parties of a disk, differently such machine element will have defects of teeth and propensity to warping.

On fig. 6 photos of some standard sizes of polymeric machine elements, illustrating both told above, and results of research of their is stress-strained state are resulted. Let's notice, that it is possible to operate by stress-strained state of a design by its purposeful change rigidity (thickness of a toothed rim, a nave, quantity of ribs and their arrangement, application of spokes instead of ribs, saving thus a material, etc.) depending on the requirements shown by conditions of operation of chain drives.



*Fig. 6. Polymeric sprockets and gears*

On fig. 7 is shown the example of one of the integrated sprockets, including, except actually sprocket, a drum and a cover for bracing.

Designs of forms are various, as products for which manufacture they are intended are various. Any form represents a combination of known knots and details to knots and special purpose details. Performance of cooling system for each compression mould considerably raises equipment cost. Therefore, if there are no obstacles, project the universal cooling block providing working capacity of replaceable packages, including forming and pushing out systems.



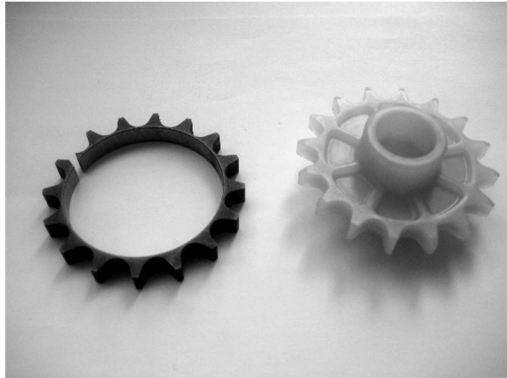
*Fig. 7. Sprocket integrated with drum and cover of bracing*

The way of manufacturing of matrixes is a determinative at manufacturing of compression molds. The most widespread way of manufacturing of matrixes – milling with the subsequent polishing cannot provide sufficient accuracy, application of more progressive technologies therefore is necessary. One of them is electro-erosion processing of metals. At manufacturing of ma-

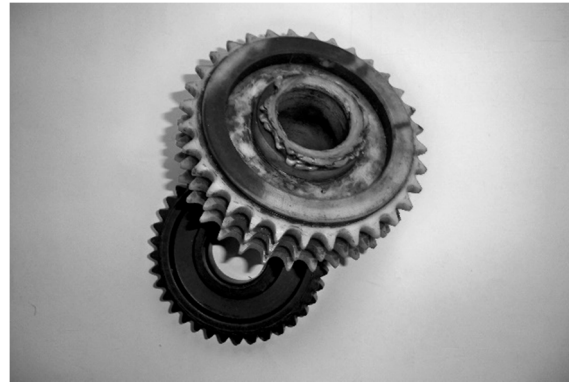
## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

trixes by this way preliminary operations – milling and thermal processing are used. Using this preliminary operation, we receive a gain in time as on productivity on simple operations the electro-erosion technology concedes to milling. The remained allowance remove on a draught mode with the big energy of an impulse, and in process of allowance reduction pass to softer modes.

On fig. 8 the example of a cut out form-building teeth of a sprocket of a matrix by a wire electrode on the electro-erosion machine tool with numerical programmed control and a corresponding sprocket is shown.



*Fig. 8. Cut out of a matrix and cast sprocket*



*Fig. 9. Tension 3-row sprocket and idle gear wheel*

Thus the big clearance on fig. 8 in comparison with diameter of a wire electrode (0.2 mm) speaks liberation of elastic deformations.

Manufacturing of matrixes for sprockets, gear wheels and similar machine elements it can be carried out on electro-erosion machine tools with the numerical program management of types 4531Φ3, 4532Φ3, 4732Φ3, Agiecut, which make a cutting a wire electrode form-building gear wreaths of matrixes on parameters preliminary entered into the program.

Other progressive method of reception of matrixes of compression moulds of a complicated configuration is the plasma dusting on model of a working layer in the thickness 1...3 mm with the subsequent registration of a basic part by pouring by other metals («bark-like» method). As a result labor input of manufacturing of equipment reduces in 3...10 times, and the working surface of a matrix does not demand finishing processing as cleanliness of a surface corresponds to cleanliness of a surface of model. Average time of manufacturing of a working layer makes 5...30 minutes, hardness reaches it 72HRC.

Base materials for creation of polymeric composites are polyamides PA-6 and PA-6.6 manufactures of Chernigiv joint-stock company «Chemical fibre». As a result of their updating by different functional additives their physicommechanical properties cardinally improve.

Because of fibre glass presence in a composite material there is a deterioration of matrix group elements. To reduce its influence, these elements are chrome plated with thickness of a covering till 18-20 mc and polished for giving of a demanded roughness of a surface.

The complicated configuration of a sprocket or gear wheel dictates the form of elements of matrix group. As a result of casting of an experimental batch of polymeric machine elements modes of molding are fulfilled and there are data for management in technological parameters of manufacturing of a polymeric machine element (pressure of injection of a material, temperatures of processing of a material on zones, compression mould temperature, temperature melt, speed of rotation screw, time of a cycle of a machine element manufacturing). Use of such technological parameters as the data carriers, adapted for input possibility in management injection automatic machine, creates possibilities for computerized manufactures of machine elements by molding under pressure out of polymeric composites. Except technological advantages, polymeric elements of chain drives have also operational advantages [2].

Low heat conductivity of polymeric materials promotes accumulation of heat in a machine element, the local overheat in places of concentration of a thermal stream [6], for example, interfaces of naves of idle gear wheels and tension sprockets to motionless axes therefore can take place. Besides intensity of stresses in such interfaces can exceed that in teeth under the influence of loading. All it leads to thermal destruction a polymeric material, as an example of that fig. 9 where are shown a tension sprocket for the three-row chain, working in oil, and a parasitic gear wheel can serve [2,6].

As heat accumulation occurs in a machine element, artificial heat removal, for example, having blown in surfaces air seldom gives desirable effect. More effective in this case is division of a thermal stream by means of flutes and other constructive decisions (ribbing, a thin nave) on purpose non-admission local overheats in a machine element.

On fig. 10 three different constructions of polymeric sprockets are presented: in the first of them division of a thermal stream by means of flutes (at the left) is applied, and the bearing of sliding from a self-greasing material CAM is built in an sprocket from polyamide PA-6; in another (in the centre) the same flutes are applied, but the bearing of sliding and an sprocket are made of one antifriction material for one technological operation; in the third sprocket the thin nave, and figured apertures round it (on the right) is applied also give the chance to regulate fastening of this sprocket for the purpose of installation of a necessary phase lag in an operating time of chain transfer. In all three cases also it is applied ribbing surfaces to heat exchange intensification.



Fig. 10. Tension sprockets of different constructions with separation of heat stream

**Conclusion.** The presented examples of machine elements out of polymeric composites allow to draw a conclusion that application of integrated machine elements constructions and their manufacturing for one technological operation by molding under pressure on injection automatic machines gives possibility cardinally (in times, instead of for percent) to lower labor input of manufacturing of machine elements, receiving thus a number of advantages of constructive, technological and operational character.

#### References

1. Phrolov, K. V. (1984). *Metody sovershenstvovaniia mashin i sovremennye problemy mashinovedeniia* [Methods of perfecting machines and modern problems of mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Pilipenko, O. I. (2017). *Zhepnye peredatchi i privody (dinamicheskii podchod, novye materialy i technologii)* [Chain transmissions and drives (dynamic approach, new materials and technologies)]. Chernigov: Desna [in Russian].
3. Tietz, J. (1974). Belastbarkeit von Maschinenelementen aus Thermoplastischen Kunststoffen. *Maschinenmarkt*, 70 (80), 1362–1366 [in Germany].
4. Gunter, E. (1979). Berechnen von Bauteilen aus Thermoplastischen Polymerwerkstoffen. *VDI-Z*, 9 (121), 179–190 [in Germany].
5. Starjinskij, V. E., Pharberov, A. M., Plesezkhij, S. S. et.al. (1992). *Totchnye plastmassovye detali i tehnologija ih polutchenija* [Exact plastic elements and technology of their receiving]. Minsk: Navuka i tehnika [in Russian].
6. Wolverton, M.P., Theberge J.E., McCadden K.L. (1983). How Plastic Composites Wear at High Temperatures. *Machine Design*, February 10.

Олег Пилипенко

## РЕСУРСООЩАДНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Актуальність теми дослідження.** Більшість машин потребує вдосконалення їхніх приводів для зниження матеріаломісткості та енергоспоживання під час розгону і гальмування приводних деталей. На виготовлення таких деталей приводів, як шестерні, зірочки, ланцюги, витрачається третина і більше трудовитрат, необхідних для виробництва механізмів і машин. Тому є актуальною проблема зниження матеріаломісткості та енергоспоживання приводів застосуванням полімерних композитів для виробництва деталей машин.

**Постановка проблеми.** Розробка і освоєння технологічних процесів по зниженню матеріаломісткості та енергоспоживання приводів машин шляхом застосування полімерних матеріалів замість металевих.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ефективність застосування полімерних композитів для виготовлення полімерних деталей машин продемонстрована наявним досвідом експлуатації приводів, оснащених такими деталями, як за рубежем, так і у вітчизняному машинобудуванні.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Філософія конструювання і технології виготовлення полімерних деталей машин на конкретних прикладах розроблених конструкцій.

**Мета статті.** Розгляд розроблених і виготовлених типів зірочок, шестерен і ланцюгів з полімерних композитів з погляду їх конструювання і технології виготовлення.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуті деталі машин, які розроблені і виробляються за ресурсощадними технологіями для машинобудування, і можуть бути застосовані в ланцюгових та зубчастих приводах, що є частиною механізмів роботів, поліграфічних, текстильних, харчопереробних та інших машин. Дані деякі типи полімерних і металополімерних ланцюгів, зірочок, шестерен. Представлені інтегровані конструкції, виготовлення та функціонування деталей машин з полімерних композитів.

**Висновки відповідно до статті.** Застосування інтегрованих конструкцій полімерних деталей машин і їх виробництво за одну технологічну операцію литвом під тиском на термопласт автоматах дає можливість кардинально (в рази, а не на відсотки) знизити трудомісткість виробництва деталей машин, отримуючи при цьому ряд переваг конструктивного, технологічного та експлуатаційного характеру.

**Ключові слова:** ресурсощадні технології; полімерні та металополімерні зірочки; шестерні; ланцюги.

Рис.: 10. Бібл.: 6.

УДК 678.7:621.855

Олег Пилипенко

## РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Актуальность темы исследования.** Большинство машин требуют совершенствования их приводов для снижения материалоемкости и энергопотребления при разгоне и торможении приводных деталей. На изготовление таких деталей приводов, как шестерни, звездочки, цепи, расходуется треть и более трудозатрат, необходимых для производства механизмов и машин. Поэтому представляется актуальной проблема снижения материалоемкости и энергопотребления приводов применением полимерных композитов для производства деталей машин.

**Постановка проблемы.** Разработка и освоение технологических процессов по снижению материалоемкости и энергопотребления приводов машин путём применения полимерных материалов взамен металлических.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Эффективность применения полимерных композитов для изготовления полимерных деталей машин продемонстрирована имеющимся опытом эксплуатации приводов, оснащённых такими деталями, как за рубежом, так и в отечественном машиностроении.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Философия конструирования и технологии изготовления полимерных деталей машин на конкретных примерах разработанных конструкций.

**Постановка задачи.** Рассмотрение разработанных и изготовленных типов звёздочек, шестерен и цепей из полимерных композитов с точки зрения их конструирования и технологии изготовления.

**Изложение основного материала.** Рассмотрены детали машин, которые производятся по ресурсосберегающим технологиям для машиностроения и могут быть использованы в цепных и зубчатых приводах, являющихся частью механизмов роботів, полиграфических, текстильных, пищевого перерабатывающих и других машин. Даны некоторые типы полимерных и металлополимерных цепей, звёздочек, шестерен. Представлены интегрированные конструкции, изготовление и функционирование деталей машин из полимерных композитов.

**Выводы в соответствии со статьей.** Применение интегрированных конструкций полимерных деталей машин и их производство за одну технологическую операцию литьем под давлением на термопласт автоматах даёт возможность кардинально (в разы, а не на проценты) снизить трудоёмкость производства деталей машин, получая при этом ряд преимуществ конструктивного, технологического и эксплуатационного характера.

**Ключевые слова:** ресурсосберегающие технологии; полимерные и металлополимерные звёздочки; шестерни; цепи.

Рис.: 10. Библ.: 6.



**Pilipenko Oleg** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Leader of the Fundamental Machine Design section, the Welding Technology and Automatized Projecting of Building Structures Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str. 14035 Chernihiv, Ukraine).

**Пилипенко Олег Іванович** – доктор технічних наук, професор, керівник секції основ конструювання машин кафедри зварювального виробництва та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Пилипенко Олег Іванович** – доктор технических наук, профессор, руководитель секции основ конструирования машин кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

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

**Scopus Author ID:** 16510833000

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0590-0107>

**Researcher ID:** G-2533-2016

## РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.791.763.1:539.378.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-58-67

Геннадій Болотов, Максим Болотов

### ПРЕЦИЗІЙНЕ ЗВАРЮВАННЯ ТИСКОМ ВОЛОКНИСТИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ НА МЕТАЛЕВІЙ ОСНОВІ

**Вступ.** Нині значне поширення отримали композиційні матеріали із металевою матрицею (МКМ), до яких відносять метали, зміцнені неперервними волокнами. МКМ мають високі експлуатаційні властивості, які залежать від природи матриці, геометрії та розподілу наповнювача. Основним матричним матеріалом є алюміній та його сплави, зміцнюючою фазою – вуглецеві, борні або сталеві волокна.

**Постановка проблеми.** Однією з проблем застосування волокнистих МКМ є з'єднання їх між собою та з конструкціями, виконаними з традиційних металів і сплавів. Механічне кріплення за допомогою болтів та заклепок послаблює конструкцію, оскільки свердлення отворів пов'язане з руйнуванням волокон. Для забезпечення міцності паяного з'єднання необхідно застосовувати значні перекриття. Зварювання плавленням призводить до значного зниження міцності армуючих волокон унаслідок тривалого перебування їх у зоні високих температур.

**Мета роботи.** Метою роботи є аналіз особливостей зварювання волокнистих МКМ тиском, насамперед точковим та дифузійним, і визначення сфери їх застосування.

**Виклад основного матеріалу.** Важливою особливістю цих процесів є незначний термічний вплив процесу зварювання на волокна МКМ. Ці способи зварювання застосовують як для з'єднання заготовок з МКМ, так і з'єднання їх з гомогенними матеріалами. Водночас конструктивні та металургійні особливості композиційних матеріалів суттєво ускладнюють вибір режимів зварювання і ускладнюють технологію їх з'єднання.

Для композиційного матеріалу з об'ємним вмістом волокон бору 20 та 30 % ускладнень у процесі точкового та шовного зварювання не виникає, режими зварювання практично не відрізняються від відомих для сплавів алюмінію. У міру збільшення вмісту волокон неелектропровідного бора значно утруднюються умови формування литого ядра, що вимагає застосування електродів спеціальної форми та жорстких режимів зварювання.

Висока міцність дифузійних з'єднань МКМ на основі алюмінію між собою та з титановими сплавами може бути досягнута оптимальним вибором конструкції з'єднання та застосуванням проміжних металевих прошарків, у ролі яких можуть бути застосовані мідь, нікель та багато інших пластичних металів.

**Висновки.** Електроконтактне точкове зварювання МКМ системи алюміній-бор із об'ємним вмістом волокон до 30...35 % може ефективно здійснюватися на режимах для зварювання алюмінію. При збільшенні вмісту волокон для отримання якісних зварних з'єднань необхідно застосовувати електроди спеціальної форми, причому товщина плакучого шару на композиційному матеріалі повинна бути не менше 100...200 мкм. Дифузійне зварювання є ефективним способом з'єднання волокнистих МКМ. Для підвищення механічних характеристик з'єднання доцільно застосовувати проміжні прошарки з пластичних металів.

**Ключові слова:** металеві композиційні матеріали; точкове та шовне зварювання; дифузійне зварювання.

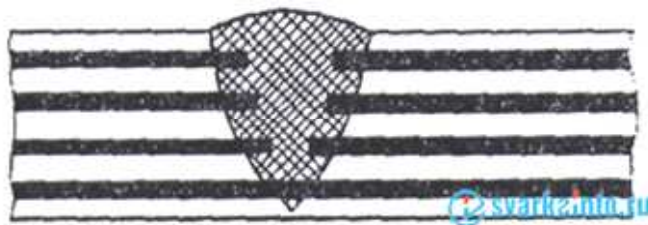
Рис.: 7. Табл.: 2. Бібл.: 8.

**Вступ.** Композиційні матеріали складаються, здебільшого, з пластичної основи (матриці), армованої наповнювачем, що володіє високою міцністю, жорсткістю та ін. Сполучення різнорідних речовин призводить до створення нового матеріалу, властивості якого кількісно і якісно відрізняються від властивостей кожного з його складових. Варіюванням складу матриці й наповнювача отримують різноманітні матеріали з необхідним набором властивостей, які перевищують традиційні матеріали та сплави за своїми механічними характеристиками і при цьому є значно легшими. Застосування композитів дозволяє зменшити масу конструкцій при збереженні її основних експлуатаційних показників.

Нині значне поширення отримали композити на основі полімерних матриць, які дозволяють за відносно простою технологією виготовляти великогабаритні деталі й конструкції складної форми [1]. Водночас полімерні композити мають обмежений температурний діапазон експлуатації, низьку електро- і теплопровідність, нестабільність розмірів. Ці та багато інших недоліків усуваються застосуванням композиційних матеріалів із металевою матрицею (МКМ), до яких відносять метали, зміцнені неперервними волокнами. МКМ мають високі експлуатаційні властивості, які залежать від природи матриці, геометрії та розподілу наповнювача. Основним матричним матеріалом є

алюміній та його сплави, зміцнюючою фазою – вуглецеві, борні або сталеві волокна діаметром 100...150 мкм. Об'ємна частка волокон складає від 10 до 60 %.

**Постановка проблеми.** Однією з проблем застосування волокнистих МКМ, поряд із механічною обробкою і необхідністю забезпечення корозійної стійкості, є з'єднання їх між собою та з конструкціями, виконаними з традиційних металів і сплавів. У цьому випадку задача полягає в забезпеченні рівної міцності з'єднання з основним матеріалом. До металевих композиційних матеріалів застосовують механічні методи з'єднання, з'єднання за допомогою паяння, зварювання тиском та плавленням, тому вибір оптимального способу з'єднання є достатньо складним. Механічне кріплення за допомогою болтів та заклепок послаблює конструкцію, оскільки свердлення отворів пов'язане з руйнуванням волокон. Крім того, отвори для кріпильних деталей є концентраторами напружень і джерелами щільної корозії. Для забезпечення міцності паяного з'єднання необхідно застосовувати значні перекриття. Відношення довжини перекриття до товщини матеріалу звичайно не менше 20. Зварювання плавленням призводить до значного зниження міцності армуючих волокон унаслідок тривалого перебування їх у зоні високих температур. До того ж, як визначено у роботах [2; 3], при аргонодуговому зварюванні як із присадковим матеріалом, так і без нього не вдається сформувати стабільну зварювальну ванну й утворити якісне зварне з'єднання. Це пов'язано з тим, що при зварюванні тонкий плакуючий шар алюмінію (50...200 мкм) швидко розплавляється, а сітка армуючих волокон (бору або вуглецю), що знаходиться під ним, перешкоджає утворенню єдиної зварної ванни й утруднює стабільне горіння зварювальної дуги. Дія концентрованого джерела теплоти може призводити до перерізання волокон при достатньо малій товщині МКМ. Крім того, задовільні результати отримати досить складно внаслідок виникнення в багатьох випадках інтерметалідних прошарків, які сприяють підвищенню крихкості зварного з'єднання (рис. 1).



*Рис. 1. Руйнування армуючих волокон композиційного матеріалу при зварюванні плавленням*

Перелічені вище проблеми привели до більшої уваги фахівців до способів зварювання МКМ тиском – контактного точкового та дифузійного зварювання, які забезпечують значно нижчий тепловий вплив на матеріали.

**Мета роботи.** Метою роботи є аналіз особливостей зварювання волокнистих МКМ тиском, передусім точковим та дифузійним, і визначення сфери їх застосування.

**Виклад основного матеріалу.** У технологічному циклі виробництва вузлів та конструкцій з напівфабрикатів МКМ ключове місце належить способам їх з'єднання, зокрема зварювання. Без цих способів створення нероз'ємних з'єднань сфера застосування МКМ обмежується, в основному, обшивками та найпростішими деталями [4].

Найбільше розповсюдження отримало зварювання тиском, зокрема електроконтактне (точкове і шовне) та дифузійне, які забезпечують високу якість зварних з'єднань. Важливою особливістю цих процесів є незначний термічний вплив процесу зварювання на волокна МКМ. При дифузійному зварюванні температура нагріву не досягає температури плавлення матричного матеріалу МКМ, а при електроконтактному зварюванні

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

хоча сам процес і здійснюється при більш високих температурах, тривалість процесу не перевищує частки секунди. За допомогою точкового електрозварювання з'єднують внапуск елементи жорсткості з обшивками тонкостінних оболонок і панелей. Шовне електрозварювання застосовують при виготовленні силових оболонок і ємностей, де необхідні міцні та герметичні з'єднання. Ці способи зварювання застосовують як для з'єднання заготовок з МКМ, так і з'єднання їх з гомогенними матеріалами. Разом з тим конструктивні та металургійні особливості композиційних матеріалів суттєво ускладнюють вибір режимів зварювання й ускладнюють технологію їх з'єднання.

У роботі [2] досліджені особливості формування з'єднання при контактному точковому зварюванні волокнистого композиційного матеріалу системи алюміній – бор ВКА-1. Товщина матеріалу знаходилась у межах від 0,9 до 2,0 мм, матеріал матриці – сплав АД-1, об'ємний вміст волокон бора становив 20, 30, 45 та 55 %. Визначено, що для композиційного матеріалу із об'ємним вмістом волокон бора 20 та 30 % ускладнень у процесі зварювання не виникає, режими зварювання практично не відрізняються від відомих для сплавів алюмінію.

Для матеріалів із об'ємним вмістом волокон 45 та 55 % визначити однозначно режим зварювання досить складно. Це пов'язано з тим, що у міру збільшення вмісту волокон неелектропровідного бора значно звужуються межі можливої зміни основних параметрів режиму – величини струму і зусилля стискання. Крім того, дуже утруднюються умови формування литого ядра.

При проходженні імпульсу зварювального струму здійснюється розігрівання матеріалу між електродами. При цьому механічні властивості плакуючого шару різко знижуються, а волокна бора зберігають свої властивості, зокрема високу міцність і жорсткість. Плакуючий шар при застосуванні електродів із додатковим обжиманням периферійної зони має можливість вільно текти й утворює при цьому вздуття на поверхні матеріалу. Такий ефект найбільш повно проявляється на МКМ із об'ємним вмістом волокон 45 та 55 %.

Аналіз макроструктури таких матеріалів показує, що прямі шляхи силових ліній струму практично відсутні внаслідок достатньо густої сітки волокон бора, яка перешкоджає проходженню струму по найкоротшому шляху між електродами. Це призводить до розтікання ліній струму по значній площі, концентрація струму втрачається, виділення теплоти в зварюваних матеріалах розсіюється.

Експериментальним шляхом визначено, що при зварюванні матеріалів із 45- та 55%-ним вмістом волокон бору необхідно застосовувати електроди з більшим радіусом сфери, ніж рекомендовано для алюмінієвих сплавів. Електроди з радіусом сфери 200...250 мм (замість 50...100 мм) дозволяють усунути небезпеку руйнування крихких волокон бору, усунути утворення внутрішніх та зовнішніх виплесків матеріалу плакуючих шарів.

Механічні властивості зварних з'єднань наведені в табл. 1. Видно, що міцність при статичному розтягуванні залежить від об'ємного вмісту волокон бору. Причому найбільша міцність спостерігається не у зразків із 45- та 55%-ним вмістом волокон, а у зразків із 30%-ним вмістом. Це може бути пов'язано з тим, що на матеріалах із високим вмістом волокон бору густа сітка зміцнюючих волокон майже повністю перешкоджає механічному перемішуванню розплавленого матричного металу в ядрі точки і гальмує сумісну кристалізацію, що призводить до недостатньо надійного металевого зв'язку.

На матеріалах із 30%-ним вмістом волокон бору розплавлений метал має можливість суттєво перемішуватись у ядрі точки, що забезпечує надійний металевий зв'язок, а у поєднанні ВКА-1 – Д16Т призводить до помітного легування литого ядра елементами, що переходять з більш високоміцного сплаву.

*Міцність зварних точкових з'єднань композиційного матеріалу ВКА-1*

Зварювані матеріали	Товщина зразків, мм	Напрямок волокон бору відносно прокату	V <sub>об</sub> , %	Діаметр ядра зварної точки, мм	Зусилля зрізання зварного з'єднання, Н
ВКА-1 + ВКА-1	1+1	вздовж	30	5,1	3350
			55		3050
	1+1	впоперек	30	5,1	2120
			55		1950
	1,5+1,5	вздовж	30	7,2	4600
			55		4070
	1,5+1,5	впоперек	30	7,2	2680
			55		2490
2+2	вздовж	30	8,1	6350	
		55		5930	
ВКА-1+ Д16Т	2+2	вздовж	30	7,9	6150
		впоперек	30		3050

У роботі [5] вивчався вплив товщини плакуючого шару на поверхні МКМ на умови утворення і механічні характеристики зварного точкового з'єднання. Дослідження також проводили на МКМ системи алюміній-бор із товщиною листів 1,3...1,4 мм. Товщина плакуючого шару зі сплаву алюмінію АД1 варіювалась у межах від 50 до 200 мкм.

Результати досліджень свідчать про те, що при точковому зварюванні МКМ із значним об'ємним вмістом волокон з'єднання формується фактично в плакуючому шарі. Для забезпечення якісного і стабільного формування зварної точки товщина плакуючого шару на МКМ повинна бути не менше 100...200 мкм. Тільки в цих умовах утворюється надійний ущільнюючий пояс і зварювання здійснюється без виплесків металу. При товщині плакуючого шару менше 100 мкм відсутнє стабільне формування зварної точки, а процес зварювання супроводжується значними виплесками металу з-під електродів. Дослідження також показали, що при зварюванні МКМ товщиною 1,2...2,0 мм об'єм розплавленого металу є незначним, завдяки чому відсутні умови утворення несучільностей усадкового характеру, а тому нема необхідності застосування циклів стискання електродів із додатковим кувальним зусиллям. Руйнування зразків при випробуваннях на зрізання має характер переважно чистого зрізання, а на відрив – відрив зварної точки в межах плакуючого шару або із захопленням найближчих шарів волокон.

Зварювання із застосуванням електродів, що забезпечують підвищену густину зварювального струму (електроди із кільцем із менш електропровідного матеріалу на робочій частині), підвищує стабільність якісних показників з'єднань. Руйнування з'єднання при механічних випробуваннях зразків здійснюється із відривом декількох шарів волокон бору. При цьому руйнування зразків спостерігається при навантаженнях на 25...30 % більших, ніж для зразків, зварених звичайними електродами. Міцність зразків на зрізання і в цих умовах збільшується незначно.

При точковому зварюванні композиційних матеріалів із металами та сплавами слід враховувати, що МКМ являє собою немеханічну суміш матриці та волокон (бору, вуглецю) і ці компоненти суттєво відрізняються електричними та теплофізичними характеристиками, причому волокна в процесі зварювання, як правило, зберігають свої властивості. Це пояснює той факт, що при зварюванні сполучень сплавів типу Д16Т та 1420 із матеріалами МКМ ВКА-1 (ВКА-2) лите ядро формується, в основному, з боку алюмінієвих сплавів. Для забезпечення необхідної величини проплавлення з боку МКМ необхідно застосовувати спеціальні електроди і жорсткі режими зварювання [2; 5].

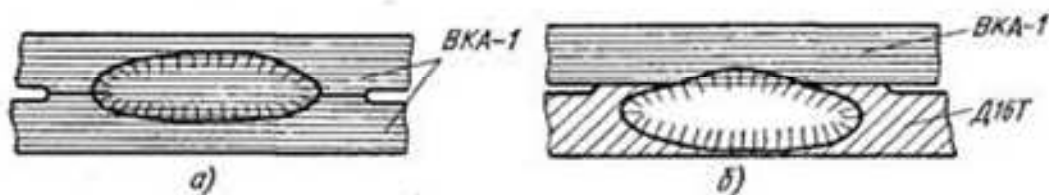


Рис. 2. Утворення литого зварного ядра при однорідному (а) та різномірному (б) з'єднанні композиційного матеріалу

У роботах [1; 4] вказується, що найбільш ефективним і перспективним способом з'єднання металевих композиційних матеріалів є дифузійне зварювання, яке забезпечує найбільш низький тепловий і деформаційний вплив на зварювані деталі. Більшість досліджень також присвячена зварюванню МКМ системи алюміній-бор.

У роботі [6] досліджений вплив характеру навантаження на міцність з'єднань при дифузійному зварюванні МКМ ВКА-2 та КАС-1А (системи алюміній-сталь). Застосовували як статичне, так і динамічне (імпульсне) навантаження. Визначено, що варіюючи рівень і кількість імпульсних стискаючих зусиль можна регулювати швидкість і ступінь деформації зразків в зоні зварювання із поступовим витисканням поверхневих шарів і схоплюванням нових ювенільних поверхонь. Найбільший ефект спостерігається, якщо активація зони зварювання пульсуючим деформуванням буде здійснюватися із частотою пульсації, співрозмірною із часом росту зародків до макроскопічних розмірів. Зокрема, при дифузійному зварюванні зразків з композиційного матеріалу КАС-1А площею 20×20 мм із 5-кратним імпульсним навантаженням у межах від 15 до 35 МПа вдалося досягти міцності зварного з'єднання на розрив вздовж волокон на рівні 80 % від міцності композита.

Перспективним є застосування дифузійного зварювання при виготовленні комбінованих вузлів боралюміній-титан, які широко застосовуються в авіаційній техніці. Процес дифузійного зварювання елементів з титанових сплавів із композитом системи алюміній-бор може проводитись за двома технологічними схемами: одночасно з формованням деталі або після нього із застосуванням проміжних шарів. Більш поширеним і більш універсальним є другий спосіб, який захищає поверхню титанових елементів від контакту з атмосферним повітрям. Для цього на попередньо очищену від оксидів хімічним способом поверхню титану наноситься рідинним способом плакуючий шар алюмінію АЛ2 (АД33). Товщина плакуючого шару становить 0,1...0,3 мкм.

Значну роль у досягненні високої надійності з'єднання титану з боралюмінієм відіграє забезпечення рівномірності розподілу прикладеного тиску в процесі зварювання. Це вимагає раціонального вибору конструкції та геометричних розмірів самого з'єднання. Дифузійне зварювання титану із боралюмінієм можливе із плоскою, клинвоюю і ступінчастою поверхнею контакту. Найбільш ефективною конструкцією вузла з'єднання композиційного матеріалу із металевим елементом є з'єднання типу «ластівчин хвіст», який забезпечує передачу навантаження на композит за рахунок зсуву в умовах стискання [7] (рис. 3).

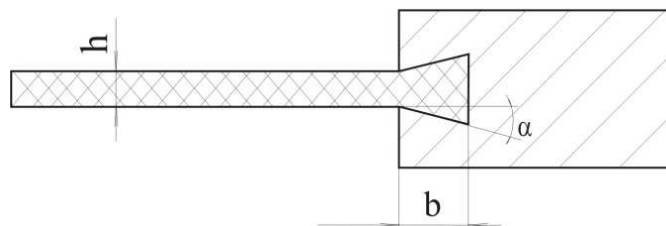


Рис. 3. З'єднання типу «ластівчин хвіст» композиційного матеріалу з металом

Визначені оптимальні конструктивні параметри з'єднання: кут конусності  $\alpha = 8 \dots 10^\circ$ , довжина  $b \geq 2 \dots 3$  мм.

З'єднання внапуск боралюмінію з титановими елементами є недосконалим за конструкцією з погляду механіки передачі навантаження на шари композиційного матеріалу. Рациональна довжина з'єднання при цьому визначається зі співвідношення показників міцності матеріалів вузла, їх товщини, міцності на зсув дифузійного з'єднання і повинна бути не менше десяти товщин. Застосування косоного з'єднання внаслідок ускладнення забезпечення рівномірності розподілу тиску в процесі дифузійного зварювання вимагає збільшення довжини з'єднання до 15...20 товщин конструкції.

У роботі [7] досліджена міцність ступінчастого з'єднання титану з боралюмінієм (рис. 4). На пластинах з титанового сплаву хімічним фрезеруванням отримувалась ступінчаста поверхня із висотою сходинок  $t$ , кратній товщині шару боралюмінію. Визначалась міцність з'єднання із симетричним розташуванням сходинок та із зміщенням їх на величину  $K$ , з однаковою довжиною сходинок та зміною їх довжини за законом  $a_{i+1} = a_i + f$ .

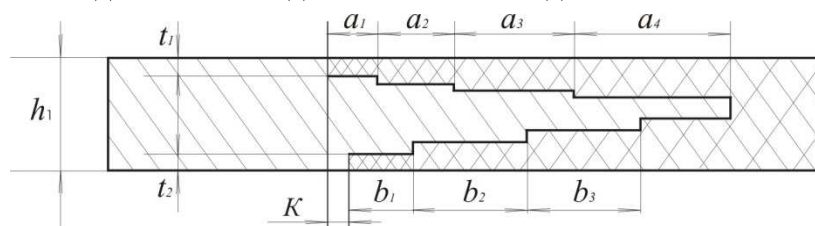


Рис. 4. Ступінчасте з'єднання композиційного матеріалу з металом

Результати випробувань зварних з'єднань боралюмінію з титановим сплавом ОТ-4 на розтягування та згин наведені в табл. 2. Міцність з'єднань на розрив досягає, в основному, 80...90 % міцності титанового сплаву. При випробуваннях на згин руйнування здійснювалось без розшарувань у місцях зміни товщини композитів. Рациональні довжини ступінчастого з'єднання становить 6...8 товщин елементів.

Таблиця 2

Міцність дифузійного з'єднання боралюмінію ВКА-2А з титановим сплавом ОТ4-1

Параметри з'єднання, мм				Товщина зразка h, мм	Міцність на розтягування, МПа	Міцність на згин, МПа
a	b	f	k			
2	2	2	0	2,0	593	1248
3	3	0	0	2,0	630	1025
3	3	0	1,5	2,0	558	1285
5	5	0	0	4,0	498	1132
2	-	2	-	1,5	632	1502

Висока міцність з'єднань МКМ на основі алюмінію між собою та з титановими сплавами може бути досягнена застосуванням проміжних металевих прошарків. У роботі [8] як прошарок при дифузійному зварюванні МКМ КАС-1А та ВКА-2 з титаном застосовані напилені у вакуумі на поверхню композита нікель та мідь товщиною 5 мкм. Для визначення характеру розподілу елементів проводили мікрорентгеноспектральний аналіз різних зон зварного з'єднання. Аналіз показує (рис. 5) рівномірний розподіл нікелю та міді як на межі розділу, так і в матриці МКМ.

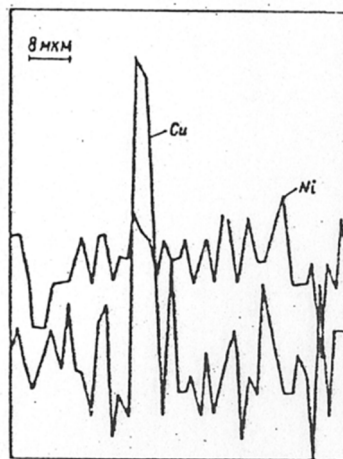
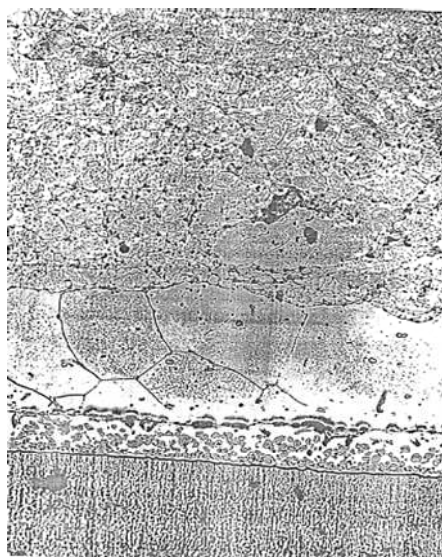


Рис. 5. Розподіл нікелю та міді у зварному з'єднанні КАС-1А – КАС-1А із напиленими проміжними прошарками нікелю та міді

Мікроструктура перехідної зони з'єднання КАС-1А із титаном, виконаного дифузійним зварюванням, наведена на рис. 6. Поверхня титана попередньо плакувалась алюмінієм. Розподіл титану в з'єднанні КАС-1А + титан через інтерметалідний прошарок і плакуючий шар до межі розділу з матрицею композита наведений на рис. 7. З'єднання мають міцність на рівні 70...80 % від міцності композиційного матеріалу.



- Матриця (сплав АВ)
- Плакуючий шар (сплав АД33)
- Шар інтерметаліду титан-алюміній
- Титан ВТ-22

Рис. 6. Мікроструктура перехідної зони з'єднання КАС-1А з титаном (x320)

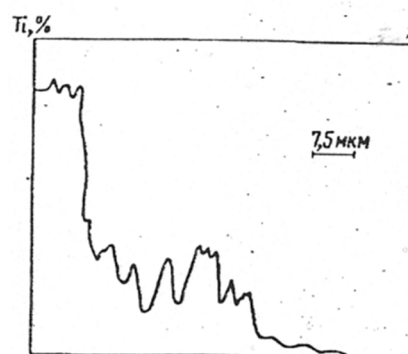


Рис. 7. Розподіл титану впоперек зони з'єднання КАС-1А – титан



**Висновки відповідно до статті.**

1. Електроконтактне точкове зварювання МКМ системи алюміній-бор з об'ємним вмістом волокон до 30...35 % може ефективно здійснюватися на режимах для зварювання алюмінію. При збільшенні вмісту волокон для отримання якісних зварних з'єднань необхідно застосовувати електроди спеціальної форми, причому товщина плакучого шару на композиційному матеріалі повинна бути не менше 100...200 мкм.

2. Дифузійне зварювання є ефективним способом з'єднання волокнистих МКМ. Для підвищення механічних характеристик з'єднання доцільно застосовувати проміжні металеві прошарки та імпульсне прикладання зусилля стискання.

**Список використаних джерел**

1. *Композиционные материалы в машиностроении* / Ю. Л. Пилиповский, Т. В. Грудина, А. Б. Сапожникова и др. – К. : Техника, 1990. – 141 с.

2. *Рязанцев В. И.* Технология контактной и дуговой сварки композиционных материалов типа ВКА-1 / В. И. Рязанцев, В. А. Федосеев // *Материалы VIII Всесоюзного совещания по сварке разнородных, композиционных и многослойных материалов.* – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1983. – С. 79–83.

3. *Ирвинг Б.* Работы по сварке композитов с металлической матрицей в США / Б. Ирвинг // *Автоматическая сварка.* – 1993. – № 2. – С. 48–51.

4. *Рябов В. Р.* Получение металлических композиционных материалов и методы их неразъемного соединения / В. Р. Рябов // *Автоматическая сварка.* – 1994. – № 4 (493). – С. 49–55.

5. *Точечная* контактная сварка металлокомпозиционного материала системы алюминий-бор / Н. Д. Машков, Г. П. Царьков, Г. Н. Смирнова, О. В. Зуев, А. Н. Машков // *Сварка разнородных, композиционных и многослойных материалов : сборник научных трудов.* – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. – С. 47–51.

6. *Стретович А. Д.* Диффузионная сварка композиционного материала на алюминиевой основе / А. Д. Стретович, Ю. В. Павленко // *Сварка разнородных, композиционных и многослойных материалов : сборник научных трудов.* – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. – С. 40–42.

7. *Преснухин В. А.* Исследование конструкции соединения и технологии диффузионной сварки боралюминия с титановыми сплавами / В. А. Преснухин, А. М. Кшнякин, С. Н. Кушнир // *Сварка разнородных, композиционных и многослойных материалов : сборник научных трудов.* – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1990. – С. 36–40.

8. *Диффузионная* сварка волокнистого композиционного материала на алюминиевой основе / В. Р. Рябов, Ю. В. Павленко, Т. В. Богданова, И. Я. Дзыкович, Г. П. Болотов // *Автоматическая сварка.* – 1992. – № 9-10. – С. 57–60.

**References**

1. Pilipovskiy, Yu. L., Grudina, T. V. & Sapozhnikova, A. B. (1990). *Kompozitsionnye materialy v mashinostroenii [Composite materials in mechanical engineering]*. Kyiv: Tekhnika [in Russian].

2. Ryazantsev, V. I. & Fedoseyev, V. A. (1983). *Tekhnologiya kontaktnoy i dugovoy svarki kompozitsionnykh materialov tipa VKA-1 [Technology of contact and arc welding of composite materials of type VKA-1]. Materialy VIII Vsesoyuznogo soveshchaniya po svarke raznorodnykh, kompozitsionnykh i mnogoslounnykh materialov – Materials of the 8th All-Union Meeting on Welding of Dissimilar, Composite and Multilayer Materials* (pp. 79–83). Kyiv: IES [in Ukrainian].

3. Irving, B. (1993). *Raboty po svarke kompozitov s metallicheskoj matritsey v SSHA [Works on welding of composites with a metal matrix in the USA]. Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding, 2, 48–51 [in Russian]*.

4. Ryabov, V. R. (1994). *Polucheniye metallicheskih kompozitsionnykh materialov i metody ikh nerazyemnogo soyedineniya [Production of metallic composite materials and methods for their permanent connection]. Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding, 4 (493), 49–55 [in Russian]*.

5. Mashkov, N. D., Tsarkov, G. P., Smirnova, G. N., Zuyev, O. V. & Mashkov, A. N. (1990). *Tochechnaya kontaktnaya svarka metallokompozitsionnogo materiala sistemy alyuminiy-bor [Spot contact welding of the metal-composite material of the aluminum-boron system]. Svarka raznorodnykh,*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*kompozitsionnykh i mnogoslonykh materialov. Sbornik nauchnykh trudov – Welding of dissimilar, composite and multilayer materials. Collection of scientific papers* (pp. 47–51). Kyiv: IES [in Russian].

6. Stretovich, A. D. & Pavlenko, YU. V. (1990). Diffuzionnaya svarka kompozitsionnogo materiala na alyuminiyevoy osnove [Diffusion welding of composite material on an aluminum base]. *Svarka raznorodnykh, kompozitsionnykh i mnogoslonykh materialov. Sbornik nauchnykh trudov – Welding of dissimilar, composite and multilayer materials. Collection of scientific papers* (pp. 40–42). Kyiv: IES [in Russian].

7. Presnukhin, V. A., Kshnyakin, A. M. & Kushnir, S. N. (1990). Issledovaniye konstruksii soyedineniya i tekhnologiiy diffuzionnoy svarki boralyuminiya s titanovymi splavami [Investigation of the design of the compound and the technology of diffusion welding of boron aluminum with titanium alloys]. *Svarka raznorodnykh, kompozitsionnykh i mnogoslonykh materialov. Sbornik nauchnykh trudov – Welding of dissimilar, composite and multilayer materials. Collection of scientific papers* (pp. 36–40). Kyiv: IES [in Russian].

8. Ryabov, V. R., Pavlenko, YU. V., Bogdanova, T. V., Dzykovich, I. YA. & Bolotov, G. P. (1992). Diffuzionnaya svarka voloknistogo kompozitsionnogo materiala na alyuminiyevoy osnove [Diffusion welding of fibrous composite material on an aluminum base]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 9-10, 57–60 [in Russian].

UDC 621.791.763.1:539.378.3

Gennadiy Bolotov, Maksym Bolotov

### PRECISION PRESSURE WELDING FIBER COMPOSITE MATERIALS ON METAL BASE

**Introduction.** Currently, a significant widespread composites with metal matrix (MCM), which include metals, reinforced continuous fibers. MKM have high performance properties, depending on the nature of the matrix, geometry and distribution of the filler. The main-matrix his material is aluminum and its alloys, hardening phase - carbon, boric or steel fibers.

**Formulation of the problem.** One of the problems is the use of MCM fiber connecting them with each other and with designs made from conventional metals and alloys. Mechanical fastening with bolts and rivets weakens the structure as drilling associated with the destruction of the fibers. For pro-BAKING strength of solder joints must apply considerable overlap. Fusion welding leads to a significant weakening of reinforcing fibers because of their long stay in the area you-high temperatures.

**The purpose of the work.** The aim is to analyze the characteristics of fiber welding MCM pressure first point and diffusion, and determine its scope. Statement of the material. An important feature of these processes is negligible thermal influence of the welding process into fibers microns. These methods are used for welding pieces of the connection MKM and connecting them with homogeneous materials. At the same time, structural steel and person-composite materials opportunities to impede selection modes welding and techno-logy complicate their connection. For composite material with boron fiber volume content of 20 to 30% of complications during the dot-Volyn NGO and seam welding does not occur, welding is almost indistinguishable from the known to aluminum alloys. As the increase of boron fibers nonconducting significantly hampered conditions of the molten core, which requires the use of special electrodes and forms rigid regimes re-welding. Highly durable diffusion connections MCM from aluminum with each other and with titanium alloys can be achieved optimal design choice connection and use of intermediate metal layers, as that may be used copper, nickel and some other metals plastic.

**Conclusions.** Electrocontact point welding MKM aluminum-boron system with a bulk fiber content up to 30...35 % can be effectively carried out in modes for welding aluminum. When increasing the fiber content for qualitative welded joints, it is necessary to apply electrodes of a special shape, in which the thickness of the filler layer on the composite material should be at least 100 ... 200 microns. Diffusion welding is an effective way of joining fibrous MKMs. In order to increase the mechanical characteristics of the joining, it is advisable to use intermediate layers of plastic metals.

**Keywords:** metal composites; spot and seam welding; diffusion welding.

Fig.: 7. Table: 2. References: 8.

УДК 621.791.763.1:539.378.3

Геннадий Болотов, Максим Болотов

### ПРЕЦИЗИОННАЯ СВАРКА ДАВЛЕНИЕМ ВОЛОКНИСТЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОСНОВЕ

**Введение.** В настоящее время широкое распространение получили композиционные материалы с металлической матрицей (МКМ), к которым относят металлы, укреплены непрерывными волокнами. МКМ имеют высокие эксплуатационные свойства, которые зависят от природы матрицы, геометрии и распределения наполнителя. Основным матричным материалом является алюминий и его сплавы, укрепляющим фазой – углеродные, борные или стальные волокна.

**Постановка проблемы.** Одной из проблем применения волокнистых МКМ является соединение их между собой и с конструкциями, выполненными из традиционных металлов и сплавов. Механическое крепление с помощью болтов и закле-

пок ослабляет конструкцию, поскольку сверления отверстий связано с разрушением волокон. Для обеспечения прочности паяного соединения необходимо применять значительные перекрытия. Сварка плавлением приводит к значительному снижению прочности армирующих волокон в результате длительного пребывания в зоне высоких температур.

**Цель работы.** Целью работы является анализ особенностей сварки волокнистых МКМ давлением, в первую очередь точечным и диффузным, и определение области их применения.

**Изложение основного материала.** Важной особенностью этих процессов является незначительное термическое воздействие процесса сварки на волокна МКМ. Эти способы сварки применяют как для соединения заготовок из МКМ, так и соединение их с гомогенными материалами. В то же время конструктивные и металлургические особенности композиционных материалов существенно затрудняют выбор режимов сварки и затрудняют технологию их соединения.

Для композиционного материала с объемным содержанием волокон бора 20 и 30 % осложнений в процессе точечного и шовного сварки не возникает, режимы сварки практически не отличаются от известных для сплавов алюминия. По мере увеличения содержания волокон неэлектропроводных бора значительно затрудняются условия формирования литого ядра, требует применения электродов специальной формы и жестких режимов сварки.

Высокая прочность диффузных соединений МКМ на основе алюминия между собой и с титановыми сплавами может быть достигнута оптимальным выбором конструкции соединения и применением промежуточных металлических слоев, в качестве которых могут быть применены медь, никель и ряд других пластичных металлов.

**Выводы.** Электроконтактная точечная сварка МКМ системы алюминий-бор с объемным содержанием волокон до 30...35 % может эффективно осуществляться на режимах для сварки алюминия. При увеличении содержания волокон для получения качественных сварных соединений необходимо применять электроды специальной формы, причем толщина плакирующего слоя на композиционном материале должна быть не менее 100...200 мкм. Диффузионная сварка является эффективным способом соединения волокнистых МКМ. Для повышения механических характеристик соединения целесообразно применять промежуточные слои из пластических металлов.

**Ключевые слова:** металлические композиционные материалы; точечная и шовная сварка; диффузная сварка.

Рис.: 7. Табл.: 2. Библ.: 8.

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

**Болотов Геннадий Павлович** – доктор технических наук, профессор кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, 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., 14035 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 (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Болотов Максим Геннадиевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Bolotov Maksym** – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0915-4132>

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.054

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-68-78

*Ирина Богдан, Артем Задорожний*

### КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК НА UML-ДИАГРАММАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ В ХОДЕ РАЗРАБОТКИ IT-ПРОЕКТОВ

**Актуальность темы исследования.** Одной из самых популярных парадигм при создании программного обеспечения является объектно-ориентированная. Создание качественного объектно-ориентированного программного обеспечения начинается с создания его модели, представленной в виде множества UML-диаграмм, и дальнейшей верификации данной модели.

**Постановка проблемы.** Существует множество различных методов верификации: одни позволяют находить отдельные группы ошибок, другие же выполняют верификацию модели в целом. Однако, для эффективного исследования этих методов необходимо прежде всего определить, какие ошибки позволяют найти те или иные методы. Наличие классификации ошибок, которые могут присутствовать на диаграммах, существенно ускорит процесс идентификации ошибок.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для дальнейшего использования классификации при создании и анализе методов верификации моделей программного обеспечения, классифицировать ошибки лучше всего в зависимости от их сути. На данный момент не существует единой классификации ошибок на всех базовых UML-диаграммах.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Таким образом, актуальной является задача создания классификации ошибок на UML-диаграммах, которая основана на анализе сути ошибки.

**Постановка задачи.** Главной целью данной статьи является описание классификации, основанной на анализе сути ошибок, которая бы позволила классифицировать ошибки на базовых диаграммах, к которым принадлежит диаграмма вариантов использования, диаграмма классов, диаграмма последовательности, диаграмма деятельности, диаграмма кооперации, диаграмма состояний и диаграмма компонентов.

**Изложение основного материала.** Представленная классификация ошибок на семи базовых UML-диаграммах дает возможность существенно ускорить процесс идентификации ошибок и, как результат, повысить качество создаваемого объектно-ориентированного программного обеспечения еще на этапе его проектирования.

**Выводы в соответствии со статьей.** В статье предложена классификация ошибок на UML-диаграммах, которая позволяет эффективно исследовать, а также оценивать достоинства и недостатки существующих методов верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения, тем самым повышая качество создаваемой программы.

**Ключевые слова:** классификация ошибок на UML-диаграммах; верификация моделей программ; качество программного обеспечения.

Рис.: 12. Библ.: 12.

**Актуальность темы исследования.** На данный момент объектно-ориентированный подход к созданию программного обеспечения является одним из наиболее распространенных. Несомненным преимуществом данного подхода является концептуальная близость к предметной области произвольной структуры и назначения. При этом не менее важной является задача обеспечения качества создаваемого программного обеспечения, которая решается уже на начальных этапах создания программы путем верификации модели будущего программного обеспечения. Данная модель при объектно-ориентированном подходе чаще всего представляется в виде UML-диаграмм [1]. Таким образом, именно с верификации UML-диаграмм и начинается создание корректно работающего и надежного программного обеспечения.

Среди UML-диаграмм, которые чаще всего принадлежат к модели программного обеспечения, диаграмма вариантов использования, диаграмма классов, диаграмма последовательности, диаграмма кооперации, диаграмма состояний, диаграмма деятельности, диаграмма компонентов и диаграмма развертывания. При этом суть процесса верификации сводится к проверке соответствия созданной диаграммы стандарту UML, а также тем требованиям, которые накладываются на нее в зависимости от используемого языка программирования, конкретной предметной области, а также решаемой задачи.

Проведенные исследования показали, что актуальным является создание классификации ошибок, которые могут встречаться на UML-диаграммах. Причем для дальнейшего ее

эффективного использования при создании и анализе методов верификации моделей программного обеспечения классифицировать ошибки лучше всего в зависимости от их сути.

**Постановка проблемы.** Для эффективного выполнения верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения, представленных в виде UML-диаграмм, необходимо наличие классификации ошибок, которые могут присутствовать на них. Классификацию следует выполнять по такому критерию, как суть ошибки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На сегодняшний день существует множество различных методов верификации UML-диаграмм. Большинство из них выполняют верификацию отдельных диаграмм, входящих в состав модели. Так, в частности, в работе [2] описан метод шаблонов, суть которого состоит в поиске на диаграмме классов определенных конструкций – ошибок. Описанный в работе [3] метод верификации диаграммы классов основан на представлении классов в виде множеств. Метод идентификационного графа и метод антипаттернов, описанные в работе [4], также используются для верификации диаграммы классов.

В работе [5] предложены методы верификации диаграммы последовательности, такие как метод протоколов, основанный на анализе соответствующих объектам классов из диаграммы классов, и метод, основанный на построении абстрактного цифрового автомата. В работе [6] предложен метод верификации диаграммы последовательности, который основан на анализе сообщений, передаваемых от объекта к объекту.

Однако в описании ни одного из представленных методов не представлена информация о том, какие именно группы ошибок они позволяют идентифицировать.

В работе [7] предложены методы верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения в целом. Описанный в [8] подход предполагает повышение качества создаваемого программного обеспечения путем выполнения верификации с использованием антипаттернов. Каждый из методов имеет свои достоинства и недостатки, однако для исследования этих методов, а также их особенностей необходимо прежде всего определить какие ошибки позволяют найти те или иные методы. Однако, для этого необходимо наличие классификации ошибок, которые могут присутствовать на той или иной диаграмме. На данный момент не существует классификации ошибок на всех UML-диаграммах.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Таким образом, актуальной является задача создания классификации ошибок на UML-диаграммах, которая основана на анализе сути ошибки.

**Постановка задачи.** Входными данными для решения задачи классификации ошибок на базовых UML-диаграммах является модель создаваемого в процессе разработки IT-проектов программного обеспечения, которая представлена в виде множества UML-диаграмм: диаграммы вариантов использования, диаграммы классов, диаграммы состояний, диаграммы деятельности, диаграммы последовательности, диаграммы кооперации и диаграммы компонентов.

Целью данного исследования является анализ и классификация ошибок на UML-диаграммах, возникающих в ходе выполнения IT-проектов, что может в дальнейшем быть использовано при создании и анализе методов верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения.

Для достижения поставленной цели необходимо решить такие задачи:

1. Провести анализ ошибок на UML-диаграммах, составляющих модель разрабатываемого программного обеспечения.
2. Предложить классификацию ошибок на UML-диаграммах, основанную на анализе сути ошибки.
3. Определить пути дальнейшего исследования для детализации и расширения предложенной классификации.

**Изложение основного материала.** Диаграмма вариантов использования является основой для создания исходной документации и дальнейшего взаимодействия разработчиков с заказчиками или пользователями [9]. Поэтому особенно важно все возникающие на данном этапе ошибки находить и сразу устранять.

Поскольку каждый вариант использования определяет последовательность действий, которые должны быть выполнены проектируемой системой при ее взаимодействии с соответствующим актером, то каждый вариант использования обязательно должен быть описан в форме глагола. Таким образом, первая группа ошибок, которые могут быть допущены на диаграмме вариантов использования, это ошибки в описании вариантов использования. Пример данной ошибки представлен на рис. 1 – вариант использования «Контакты» описан в виде существительного, а не глагола – действия, что недопустимо.

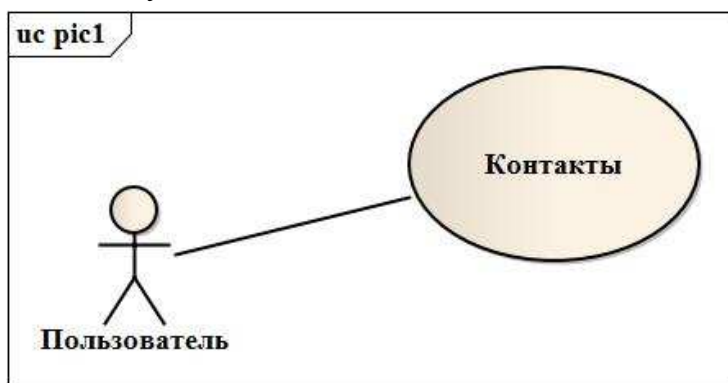


Рис. 1. Пример ошибки в описании вариантов использования

Отношения на диаграмме вариантов использования показывают взаимодействия актеров с вариантами использования системы или же поясняют отдельный вариант использования, связывая его с другими. То есть, каждый вариант использования должен относиться как минимум к одному актеру или другому варианту использования. На диаграмме не могут присутствовать изолированные варианты использования, которые не связаны отношениями либо с другими вариантами использования, либо с актерами. Таким образом, вторая группа ошибок, которые могут быть допущены на диаграмме вариантов использования, это ошибки в описании отношений. Пример данной ошибки представлен на рис. 2 – вариант использования «Ввести фамилию» не связан отношением ни с каким другим вариантом использования, ни с каким-либо актером.

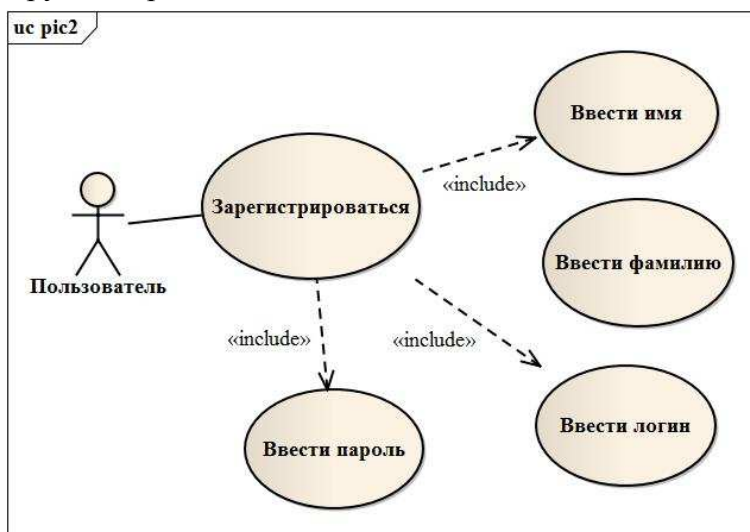


Рис. 2. Пример ошибки в описании отношений на диаграмме вариантов использования

Поскольку случаи использования, отображенные на диаграмме вариантов использования, не являются представлениями программного обеспечения и чаще всего формулируются на естественном языке, то выделить другие группы ошибок на данной диаграмме сложно.

На диаграмме классов каждый класс предназначен для описания множества объектов, которые обладают одинаковой структурой, поведением и отношениями с объектами других классов. Каждый класс должен иметь свое уникальное в пределах одного пакета имя. Таким образом, первая группа ошибок, которые могут присутствовать на диаграмме классов, ошибки в описании имен классов. Пример данной ошибки представлен на рис. 3 – класс с именем «Order» встречается на диаграмме два раза, что не допустимо.

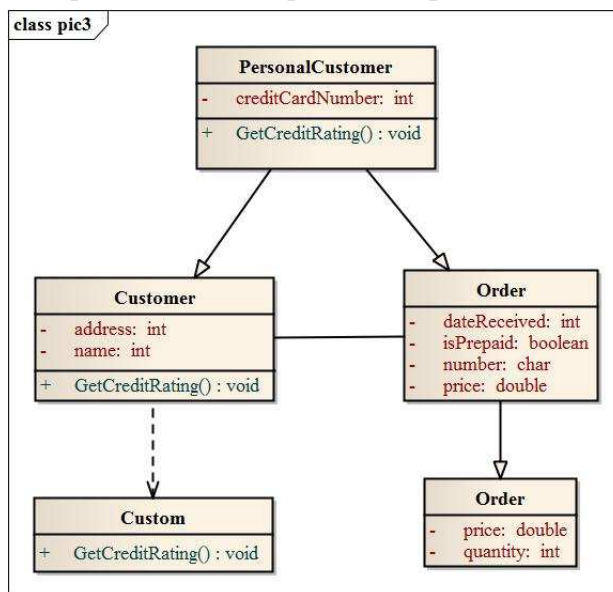


Рис. 3. Пример ошибки в описании имен классов, ошибки в описании интерфейсов и абстрактных классов, ошибки наследования на диаграмме классов

Могут присутствовать на диаграмме классов и абстрактные классы, причем они должны помечаться служебным словом «Abstract». Таким образом, следующая группа ошибок на данной диаграмме – ошибки в описании абстрактных классов. Пример данной ошибки представлен на рис. 3. Класс «Customer» по сути является абстрактным, однако не помечен служебным словом «Abstract». Таким образом, в дальнейшем класс «Customer» может быть использован как класс, имеющий экземпляры, что не допустимо.

Также компонентами диаграммы классов могут являться интерфейсы, причем они должны помечаться служебным словом «Interface». Таким образом, следующая группа ошибок на данной диаграмме – ошибки в описании интерфейсов. Пример данной ошибки представлен на рис. 3. Класс «Custom» по сути является интерфейсом, однако не помечен соответствующим служебным словом. В дальнейшем «Custom» может быть использован как класс, что не допустимо.

Присутствуют на диаграмме классов и отношения. Так, отношение обобщения – это отношение между более общим элементом – родителем и более частным элементом – потомком. Однако, в некоторых объектно-ориентированных языках допустимо множественное наследование, в других – нет. Таким образом, следующая группа ошибок на данной диаграмме – ошибки наследования. Пример данной ошибки также представлен на рис. 3. Класс «Personal Customer» наследуется одновременно и от класса «Customer», и от класса «Order». Это не допустимо, если в качестве языка программирования был выбран язык Java.

Вместе с отношением ассоциации, которое показывает наличие семантической связи между классами, на диаграмме классов может отображаться и его кратность. Еще одна группа ошибок на диаграмме классов – ошибки в описании кратности. Пример данной ошибки представлен на рис. 4. Класс «Customer» связан с классом «Order» ассоциативной связью. Мощность ассоциативной связи – от 0 до 4 объектов класса «Customer» к от 6 до 2 объектов класса «Order». В данном случае, 6 меньше 2. Таким образом, кратность описана неверно.

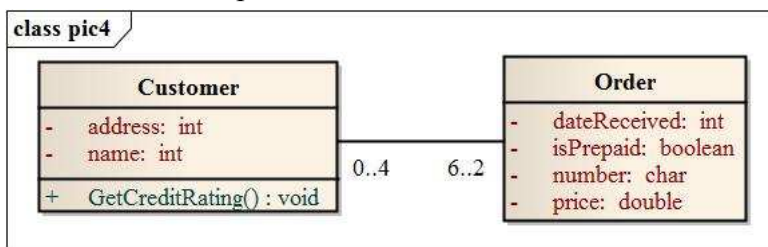


Рис. 4. Пример ошибки в описании кратности на диаграмме классов

Кроме того, на диаграмме классов допустимо наличие нескольких различных отношений между двумя классами. Еще одна группа ошибок на диаграмме классов – ошибки описания отношений. Пример данной ошибки представлен на рис. 5. Два класса «Customer» и «Order» связаны ассоциативной связью и отношением обобщения. Мощность ассоциативной связи – 4 объекта класса «Customer» к 1 объекту класса «Order». С другой стороны, класс «Order» наследуется от класса «Customer». Это означает, что классы находятся в отношении один объект класса «Customer» к одному или нескольким объектам класса «Order». То есть, отношения ассоциативной связи и обобщения противоречат друг другу.

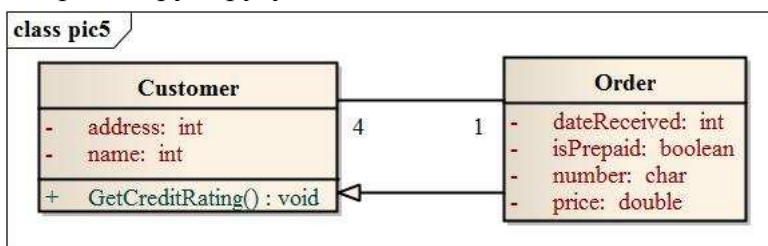


Рис. 5. Пример ошибки в описании кратности на диаграмме классов

Описанные группы ошибок описывают практически все ошибки, которые могут встретиться на диаграмме классов.

На диаграмме последовательности одним из основных элементов, помимо объектов, является сообщение. Сообщения представляют собой законченный фрагмент информации, который отправляется одним объектом другому, делая тем самым объект-получатель активным.

На диаграмме последовательности могут присутствовать как синхронные, так и асинхронные сообщения. В случае отправки синхронного сообщения объект-отправитель не может выполнять каких-либо действий до получения ответа, в случае же отправки асинхронного сообщения объект-отправитель может не дожидаться ответа и продолжать свою работу. Таким образом, первая группа ошибок, которые могут присутствовать на диаграмме последовательности, это ошибки отправки синхронных сообщений. Пример данной ошибки представлен на рис. 6 – объект «Object1» отправил синхронное сообщение объекту «Object2», однако не дожидаясь от него ответа, отправил ему еще одно сообщение, что не допустимо.



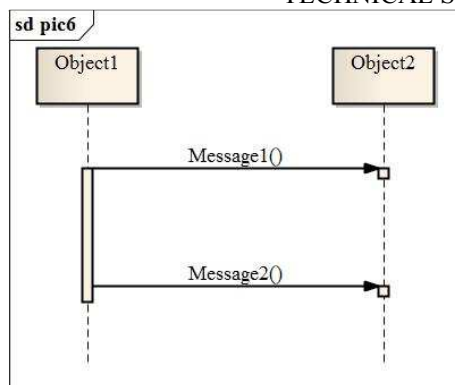


Рис. 6. Пример ошибки отправки синхронных сообщений на диаграмме последовательности

Некоторые объекты на диаграмме последовательности могут существовать на протяжении всего времени существования системы, другие создаются и уничтожаются по необходимости. При этом может возникнуть ситуация, когда сообщения будут отправляться еще не созданным или уже уничтоженным объектам. Таким образом, следующая группа ошибок на данной диаграмме – ошибки отправки сообщений не существующим объектам. Пример данной ошибки представлен на рис. 7 – объект «Object1» отправил сообщение объекту «Object2», однако на момент отправки последний уже был удален.

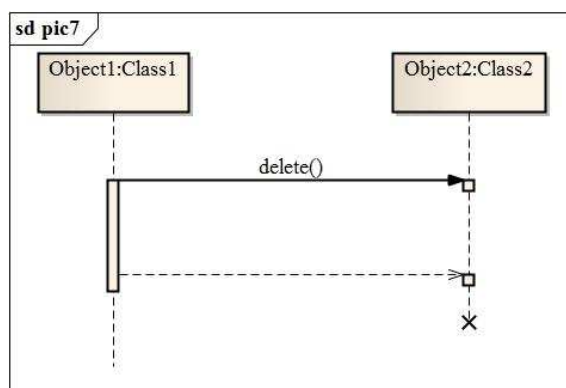


Рис. 7. Пример ошибки отправки сообщений не существующим объектам на диаграмме последовательности

Все сообщения, которые представлены на диаграмме последовательности, могут быть логически выведены из пред- и постусловий, регламентирующих выполнение отдельных операций, объявленных в классе этого объекта и представленных на соответствующей диаграмме классов. Еще одной группой ошибок на диаграмме последовательности являются ошибки отправки не существующих сообщений. На рис. 8 представлен пример простейшей диаграммы классов, состоящей из двух классов, каждый из которых имеет по два метода. На рис. 9 представлена диаграмма последовательности, на которой объект «Object2» получает от объекта «Object1» сообщение «m1», однако на соответствующей диаграмме классов (рис. 8) нет метода, который бы соответствовал данному сообщению.

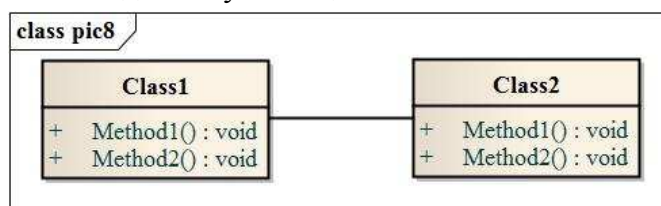


Рис. 8. Простейшая диаграмма классов

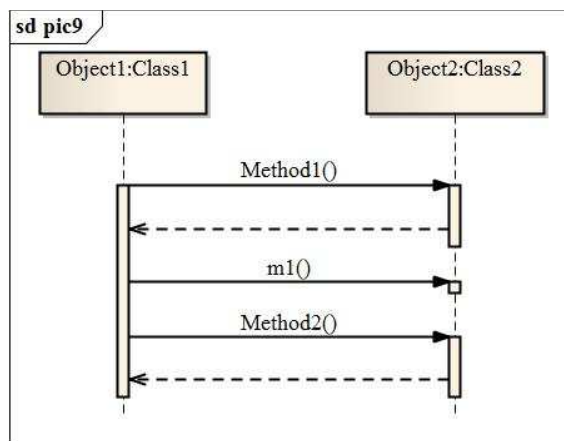


Рис. 9. Пример ошибки отправки не существующих сообщений на диаграмме последовательности

Помимо простых сообщений на диаграмме последовательности могут присутствовать также и ветвления, при этом необходимо контролировать, чтоб условия переходов в ветвлении не противоречили друг другу. Таким образом, следующей группой ошибок являются ошибки ветвления. Пример данной ошибки представлен на рис. 10 – объект «Object1» отправил сообщение-ветвление, которое в случае выполнения соответствующего условия может передать управление либо объекту «Object2», либо объекту «Object3». Однако в том случае, если, к примеру,  $x=8$  оба условия выполняются и оба объекта становятся активными одновременно, что недопустимо.

В то время, как диаграмма последовательности служит для визуализации временных аспектов взаимодействия, диаграмма кооперации предназначена для спецификации структурных аспектов взаимодействия без учета фактора времени [10]. То есть, на диаграмме кооперации изображаются только отношения между объектами, играющими определенные роли во взаимодействии. На этой диаграмме не указывается время в виде отдельного измерения. Таким образом, все группы ошибок, которые могут присутствовать на диаграмме последовательности, характерны также и для диаграммы кооперации.

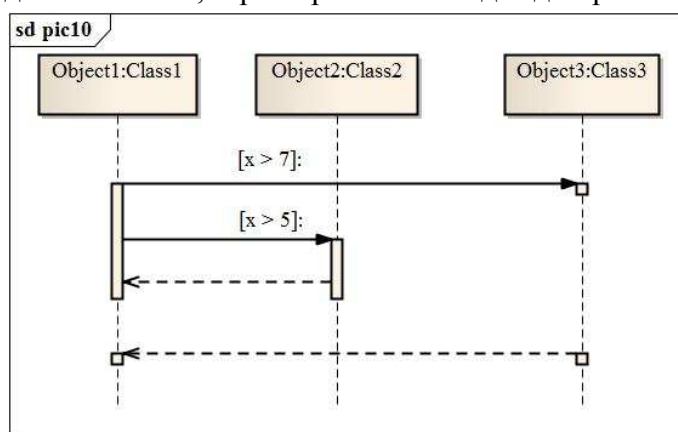


Рис. 10. Пример ошибки ветвления на диаграмме последовательности

Описанные группы ошибок описывают практически все ошибки, которые могут встретиться на диаграммах последовательности и кооперации.

Диаграмма состояний представляет собой граф специального вида – цифровой автомат. Соответственно, и требования к диаграмме состояний соответствуют требованиям к автомату.

Количество состояний на диаграмме состояний должно быть конечным и все состояния должны быть описаны явным образом. Следовательно, первая группа ошибок, которые могут встречаться на диаграмме состояний – это ошибки в описании состояний.

Также диаграмма не может содержать изолированных состояний и конфликтующих переходов, то есть если из одного состояния возможен переход в одно из нескольких других, то такой переход должен быть триггерным – условным. Таким образом, вторая группа ошибок на диаграмме состояний – ошибки переходов из состояния в состояние. Пример данной ошибки представлен на рис. 11. Состояние «Invalid» является изолированным, в него нельзя перейти не из какого другого, что недопустимо. С другой стороны, из состояния «DialTone» можно перейти сразу в два состояния «TimeOut» и «Dialing», что также недопустимо.

Применяемая на диаграмме деятельности графическая нотация во многом похожа на нотацию диаграммы состояний, поскольку на диаграмме деятельности также присутствуют обозначения состояний и переходов. Отличие заключается в семантике состояний, которые используются для представления не деятельности, а действий, и в отсутствии на переходах сигнатуры событий [11]. Каждое состояние на диаграмме деятельности соответствует выполнению некоторой элементарной операции, а переход в следующее состояние срабатывает только при завершении этой операции в предыдущем состоянии. Таким образом, все группы ошибок, которые могут присутствовать на диаграмме состояний, характерны также и для диаграммы деятельности.

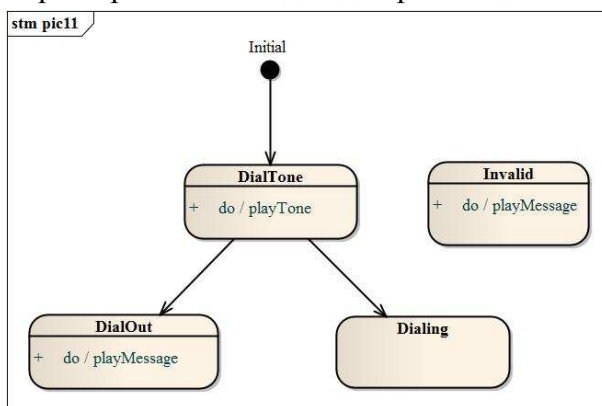


Рис. 11. Пример ошибки переходов из состояния в состояние на диаграмме состояний

Основными элементами на диаграмме компонентов являются компоненты трех различных видов, при этом:

- компоненты со стереотипом «table» не могут быть непосредственно связаны с какими-либо компонентами, только через компонент со стереотипом «DB»;
- компоненты-рабочие продукты не могут быть непосредственно связаны с компонентами со стереотипом «DB», только через компоненты исполнения.

Таким образом, на диаграмме компонентов могут присутствовать ошибки, принадлежащие к одной группе – ошибки связи между компонентами. Пример данной ошибки представлен на рис. 12 – компонент «Order» со стереотипом «table» связан зависимостью с компонентом-рабочим продуктом «Order», что недопустимо.

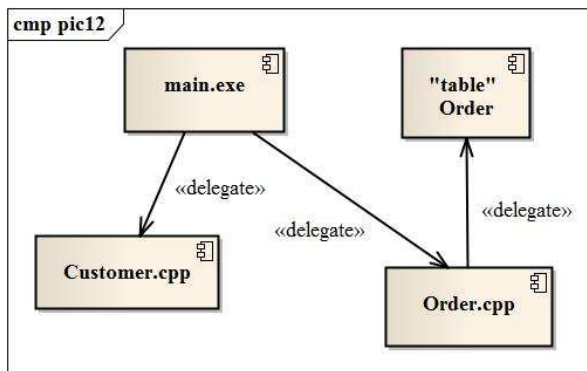


Рис. 12. Пример ошибки связи между компонентами на диаграмме компонентов

Описанные группы ошибок описывают практически все ошибки, которые могут встретиться на диаграммах состояний и деятельности.

Диаграмма развертывания является самой «демократичной» из всех UML-диаграмм. Помимо канонического представления компонентов на ней разрешается использование и графических примитивов. Отсюда следует, что выделить на данной диаграмме какие-либо группы ошибок крайне сложно.

**Выводы в соответствии со статьей.** В статье решена задача классификации ошибок на восьми базовых UML-диаграммах. Данная классификация позволяет отнести все ошибки, выявленные на диаграмме вариантов использования, диаграмме классов, диаграмме последовательности, диаграмме кооперации, диаграмме состояний, диаграмме деятельности и диаграмме компонентов к той или иной группе.

Научная новизна работы состоит в том, что впервые предложена классификация ошибок на UML-диаграммах, которая основана на анализе сути ошибок, что позволило использовать ее при создании и анализе методов верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения.

Практическая ценность полученных результатов состоит в том, что использование описанной классификации в процессе анализа UML-диаграмм позволит существенно ускорить процесс поиска ошибок, и, как результат, повысить качество создаваемого программного обеспечения еще на этапе его проектирования.

Дальнейшее исследование в данном направлении может быть направлено на расширение данной классификации либо путем добавления новых групп ошибок на базовых UML-диаграммах, либо путем классификации ошибок на других диаграммах стандарта UML.

#### Список использованных источников

1. *Page-Jones M.* Fundamentals of Object-Oriented Design in UML / M. Page-Jones. – New York : Addison-Wesley, 2000. – 435 p.
2. *Balaban M.* Management of Correctness Problems in UML Class Diagrams – Towards a Pattern-based Approach / M. Balaban, A. Maraee, A. Sturm // Journal of Information System Modeling and Design. – 2010. – Vol. 1. – No 4. – P. 24–47.
3. *Maraee, A.* Efficient recognition of finite satisfiability in UML class diagram: strengthening by propagation of disjoint constraints / A. Maraee, M. Balaban // Proceedings International Conference Model-Based Systems Engineering MBSE. – 2009. – P. 1–8.
4. *Литвинов В. В.* Формальная верификация диаграммы классов / В. В. Литвинов, И. В. Богдан // Математические машины и системы. – 2013. – № 2. – С. 41–47.
5. *Lytvynov V.* Formal verification of the sequence diagram / Vitaliy Lytvynov, Irina Bogdan // International journal “Information content and processing”. – 2014. – № 1. – P. 79–86.
6. *Lima V.* Formal verification and validation of UML 2.0 sequence diagrams using source and destination of messages / V. Lima, C. Talhi, D. Mouheb, M. Debbabi, L. Wang // Electronic notes in theoretical computer science. – 2009. – № 254. – P. 143–160.
7. *Lopes L.* Object oriented modeling of multistage stochastic linear programs / L. Lopes, R. Fourer // Operations research and cyber-infrastructure. – Springer Science+Business Media, LLC, 2009. – P. 21–42.
8. *El-Attar M.* Improving the quality of the use case models using antipatterns / M. El-Attar, J. Miller // Software systems modeling. – 2010. – Vol. 9, Issue 2. – P. 141–160.
9. *Макгрегор Дж.* Тестирование объектно-ориентированного программного обеспечения. Практическое пособие / Дж. Макгрегор, Д. Сайкс ; пер. с англ. – К. : ООО «ТИД “ДС”», 2002. – 432 с.
10. *Schafer T.* Model checking UML State Machines and collaborations / T. Schafer, A. Knapp, S. Merz // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2001. – No 47. – P. 1–13.
11. *Storrie H.* Semantics and Verification of Data Flow in UML 2.0 Activities / Harald Storrie // Electronic Notes in Theoretical Computer Science. – 2005. – Vol. 127. – No 4. – P. 35–52.
12. *Литвинов В. В.* Автоматизированная система верификации моделей объектно-ориентированного программного обеспечения / В. В. Литвинов, И. В. Богдан // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2015. – № 1 (77). – С. 83–90.

## References

1. Page-Jones, M. (2000). *Fundamentals of Object-Oriented Design in UML*. New York: Addison-Wesley.
2. Balaban, M., Maraee, A., Sturm, A. (2010). Management of Correctness Problems in UML Class Diagrams – Towards a Pattern-based Approach. *Journal of Information System Modeling and Design*, 4, 24–47.
3. Maraee, A., Balaban, M. (2009). Efficient recognition of finite satisfiability in UML class diagram: strengthening by propagation of disjoint constraints. *Proceedings International Conference Model-Based Systems Engineering MBSE* (pp. 1–8).
4. Lytvynov, V., Bogdan, I. (2013). Formalnaia verifikatsiia diagrammy klassov [Formalnaia verifikatsiia diagrammy klassov]. *Matematicheskie mashiny i sistemy – Mathematical Machines and Systems*, 2, 41–47 [in Russian].
5. Lytvynov, V., Bogdan, I. (2014). Formal verification of the sequence diagram. *International journal "Information content and processing"*, 1, 79–86.
6. Lima, V., Talhi, C., Mouheb, D., Debbabi, M., Wang, L. (2009). Formal verification and validation of UML 2.0 sequence diagrams using source and destination of messages. *Electronic notes in theoretical computer science*, 254, 143–160.
7. Lopes, L., Fourer, R. (2009). Object oriented modeling of multistage stochastic linear programs. *Operations research and cyber-infrastructure* (pp. 21–42).
8. El-Attar, M., Miller, J. (2010) Improving the quality of the use case models using antipatterns. *Software systems modeling*, Vol. 9, Issue 2, 141–160.
9. Makgregor, Dzh., Saiks, D. (2002). *Testirovanie obiektno-orientirovannogo programmnogo obespecheniia* [Testirovanie obiektno-orientirovannogo programmnogo obespecheniia]. Kyiv: OOO "TID «DS»".
10. Schafer, T., Knapp, A., Merz, S. (2001). Model checking UML State Machines and collaborations. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 47, 1–13.
11. Storrle, H. (2005). Semantics and Verification of Data Flow in UML 2.0 Activities. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 4, 35–52.
12. Lytvynov, V., Bogdan, I. (2015). Avtomatizirovannaia sistema verifikatsii modelei obiektno-orientirovannogo programmnogo obespecheniia [Avtomatizirovannaia sistema verifikatsii modelei obiektno-orientirovannogo programmnogo obespecheniia]. *Visnik Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universitetu. Seriia "Tekhnichni nauky" – Visnyk of Chernihiv State Technological University. Series "Technical Sciences"*, 1 (77), 83–90 [in Russian].

UDK 004.054

Iryna Bohdan, Artem Zadorozhnii

## THE CLASSIFICATION OF ERRORS ON UML-DIAGRAMS OCCURRING IN THE DEVELOPMENT OF IT-PROJECTS

**Urgency of the research.** *One of the most popular paradigms for creating software is object-oriented one. The creation of the qualified object-oriented software begins with the creation of its model, presented as a set of UML-diagrams and the further verification of this model.*

**Target setting.** *There are many different verification methods available: some allow you to find separate groups of errors, while the others perform the verification of the model as a whole. However, for an effective study of these methods, it is necessary to determine which errors allow to find these or those methods, on the first place. The existence of the classification of errors that may be found in the diagrams can significantly improve the process of the identification of the errors.*

**The analysis of actual scientific researches and issues.** *For the further usage of the classification while creating and analysing the methods for verifying software models, it is better to classify errors according to their nature. Nowadays there is no single classification of errors on all basic UML diagrams.*

**The defining of previously unresolved parts of a general problem.** *Thus, the actual task is to create a classification of errors on UML diagrams, which is based on the analysis of the nature of the error.*

**The research objective.** *The main purpose of this article is to describe the classification which is based on the analysis of the nature of the errors that would allow to classify errors in the basic diagrams which includes the diagram of the use options, the class diagram, the sequence diagram, the activity diagram, the cooperation diagram, the state diagram and the component diagram.*

**The description of basic material.** *The given classification of errors in seven basic UML diagrams allows you to accelerate the process of identifying errors significantly and, as a result, to improve the quality of the created object-oriented software at the stage of its design.*

**Conclusions.** The article represents the classification of errors in UML diagrams, which allows to investigate effectively, as well as to evaluate the advantages and disadvantages of the existing methods of models verification of the object-oriented software, which means the improvement of the program quality.

**Keywords:** classification of errors in UML diagrams; verification of program models; software quality.

*Fig.: 12. References: 12.*

УДК 004.054

Ірина Богдан, Артем Задорожній

## КЛАСИФІКАЦІЯ ПОМИЛОК НА UML-ДІАГРАМАХ, ЩО ВИНИКАЮТЬ ПІД ЧАС РОЗРОБКИ ІТ-ПРОЕКТІВ

**Актуальність теми дослідження.** Однією з найпопулярніших парадигм при створенні програмного забезпечення є об'єктно-орієнтована. Створення якісного об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення починається зі створення його моделі, представленої у вигляді множини UML-діаграм, і подальшої верифікації даної моделі.

**Постановка проблеми.** Існує безліч різних методів верифікації: одні дозволяють знаходити окремі групи помилок, інші ж виконують верифікацію моделі загалом. Однак для ефективного дослідження цих методів необхідно насамперед визначити, які помилки дозволяють знайти ті чи інші методи. Наявність класифікації помилок, які можуть бути присутніми на діаграмах, істотно прискорить процес ідентифікації помилок.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для подальшого використання класифікації в процесі створення та аналізу методів верифікації моделей програмного забезпечення, класифікувати помилки найкраще залежно від їх суті. Нині немає єдиної класифікації помилок на всіх базових UML-діаграмах.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Таким чином, актуальною є задача створення класифікації помилок на UML-діаграмах, яка б базувалася на аналізі суті помилки.

**Постановка завдання.** Головною метою даної статті є опис класифікації, заснованої на аналізі суті помилок, яка б дозволила класифікувати помилки на базових діаграмах, до яких належить діаграма варіантів використання, діаграма класів, діаграма послідовності, діаграма діяльності, діаграма кооперації, діаграма станів і діаграма компонентів.

**Виклад основного матеріалу.** Представлена класифікація помилок на семи базових UML-діаграмах дає можливість істотно прискорити процес ідентифікації помилок і, як результат, підвищити якість створюваного об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення ще на етапі його проектування.

**Висновки відповідно до статті.** У статті запропоновано класифікацію помилок на UML-діаграмах, яка дозволяє ефективно досліджувати, а також оцінювати переваги й недоліки існуючих методів верифікації моделей об'єктно-орієнтованого програмного забезпечення, тим самим підвищуючи якість створюваної програми.

**Ключові слова:** класифікація помилок на UML-діаграмах; верифікація моделей програм; якість програмного забезпечення.

*Рис.: 12. Бібл.: 12.*

**Богдан Ірина Валентиївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігів, 14035, Україна).

**Богдан Ірина Валентиївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченко, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Bohdan Iryna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1521-6958>

**Задорожній Артем Александрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (ул. Шевченко, 95, г. Чернігів, 14035, Україна).

**Задорожній Артем Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченко, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Zadorozhnyi Artem** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Information Technologies and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3424-7293>

УДК 004.912

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-79-88

Алексей Кунгурцев, Наталия Новикова, Мария Решетняк, Яна Черепинина

## УТОЧНЕНИЕ КЛАССИФИКАЦИИ И МОДЕЛЕЙ ПУНКТОВ СЦЕНАРИЕВ ВАРИАНТОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Актуальность темы исследования.** Варианты использования являются одним из важных способов представления функциональных требований к проектируемым информационным системам. Их описание – достаточно сложный и трудоёмкий процесс. Поэтому исследования, направленные на автоматизацию этого процесса, являются актуальными.

**Постановка проблемы.** Для автоматизации описания вариантов использования необходима разработка классификации и моделирования пунктов сценариев. В данной работе решается проблема корректировки существующей классификации пунктов вариантов использования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации по теме применения вариантов использования. За основу принята классификация, предложенная в работе «Информационная технология автоматизированного составления вариантов использования».

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Создание модели для пункта «Завершение прецедента».

**Постановка задачи.** Корректировка классификаций пунктов вариантов использования, создание и внесение изменений в модели пунктов сценариев.

**Изложение основного материала** Предложена усовершенствованная модель описания вариантов использования, отражающая как функциональные требования, так и концептуальные классы проектируемого программного продукта. Классификация пунктов сценария вариантов использования дополнена новым пунктом «Завершить вариант использования». Внесены изменения в ранее предложенные модели и созданы новые модели для пунктов сценария «Создать», «Запросить значение», «Действия пользователя, которые не укладываются в предложенную классификацию». Созданы соответствующие алгоритмы и выполнена модернизация программного продукта, поддерживающего технологию автоматизированного составления вариантов использования.

**Выводы в соответствии со статьёй.** Реализация предложенных моделей и алгоритмов позволила сократить время на описание вариантов использования до 10 %, а также создать модели концептуальных классов для проектируемого программного продукта.

**Ключевые слова:** варианты использования; сценарии; модели; прецеденты; концептуальные классы.

Рис.: 3. Библ.: 11.

**Актуальность темы исследования.** Варианты использования (use case, прецеденты) часто используются в проектировании информационных систем в качестве наиболее точного и полного способа формулировки функциональных требований [1; 2]. Описание варианта использования (ВИ) – трудоёмкий и ответственный этап работы по формулировке требований [4], от качества выполнения которого во многом зависит успешность проекта. Поэтому исследования, направленные на автоматизацию процесса составления ВИ, позволяющие сократить время подготовки и повысить качества описания ВИ являются актуальными.

**Постановка проблемы.** Автоматизация процесса составления ВИ должна быть основана на классификации пунктов сценариев. Классификация позволит создать модели для описания различных пунктов, а также дает возможность предложить структуру концептуальных классов, поддерживающих сценарии ВИ.

Проблема – существующая классификация не перекрывает все варианты пунктов сценариев, не предлагает модели для некоторых пунктов, поэтому обеспечивает только частичную автоматизацию процесса описания ВИ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Несмотря на достаточно большое количество публикаций, в той или иной степени определяющих правила составления [3–5] и использования [5–7] ВИ, до настоящего времени не существовало классификации возможных пунктов их сценариев. Это приводило к тому, что в проектировании программных продуктов (ПП) прецедент рассматривался как заранее описанный элемент диаграмм [7–9] и вопросам автоматизации его составления не уделялось внимание.

Исходя из того, что ВИ – это сценарий работы пользователя с будущим ПП, системный аналитик при его описании обязательно продумывает архитектуру ПП. Однако эта информация никак не фиксировалась на этапе формулировки требований, что фактически приводило к дублированию работы на этапе реализации ВИ.

В работе [10] впервые предложена классификация пункты сценариев прецедентов. На её основе построены математические модели, позволившие автоматизировать процесс составления ВИ путем предоставления системному аналитику шаблонов для каждого типа пункта. Кроме этого, была сделана попытка зафиксировать минимально необходимое количество классов (концептуальные классы), необходимых для обеспечения реализации ВИ.

Ниже приведена классификация пунктов ВИ.

- **Создать.** Пользователь приказывает системе создать некоторый документ (объект), который в зависимости от положения соответствующего пункта в сценарии может играть роль некоторого шаблона для накопления информации, либо отчета о выполненной работе.

- **Ввести данные.** Пользователь вводит в систему ряд данных, для которых система обычно должна проверить возможность их использования для дальнейшей работы.

- **Запросить значение.** Пользователь запрашивает у системы некоторое данное. Обычно после этого следует оценка данного пользователем.

- **Запросить список.** Пользователь заказывает список (например, данных, услуг или документов) для дальнейшего выбора из него некоторых элементов.

- **Выбрать из списка.** Пользователь выбирает из списка нужное данное или услугу (документ).

**Ввести услугу (документ).** Пользователь вводит необходимую услугу или документ, который определяет дальнейшую последовательность действий. Например, способ оплаты по банковской карточке.

**Повторение действий.** Пользователь имеет возможность перейти к расположенным выше пунктам сценария, либо отказаться от их повторения.

**Свободно конструируемый пункт.** Очевидно, возможна ситуация, когда пользователь не обнаружил нужной ему операции среди предложенных действий с системой. В этом случае ему предложено создать свободно конструируемый пункт.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы и постановка задачи.** Анализ приведенной классификации, а также опыт использования программного продукта UseCaseEditor, реализующего предложенную технологию, показали необходимость решения следующих задач:

- составление общей модели пунктов сценариев;
- корректировка пункта «Создать», поскольку заложенные в нем проверки условий практически никогда не используются;
- корректировка пункта «Запросить значение» для определения источника получения данных;
- составление математической модель для пункта «Свободно конструируемый пункт», что позволит автоматизировать его составление;
- добавление в классификацию нового пункта «Завершить вариант использования».

**Основной материал.**

**Модели пунктов сценария.** На рис. 1 представлена структура модели пункта сценария. Модель описания пункта входит в описание прецедента. Модель проектирования пункта не имеет представления в требованиях и является начальным этапом проектирования.



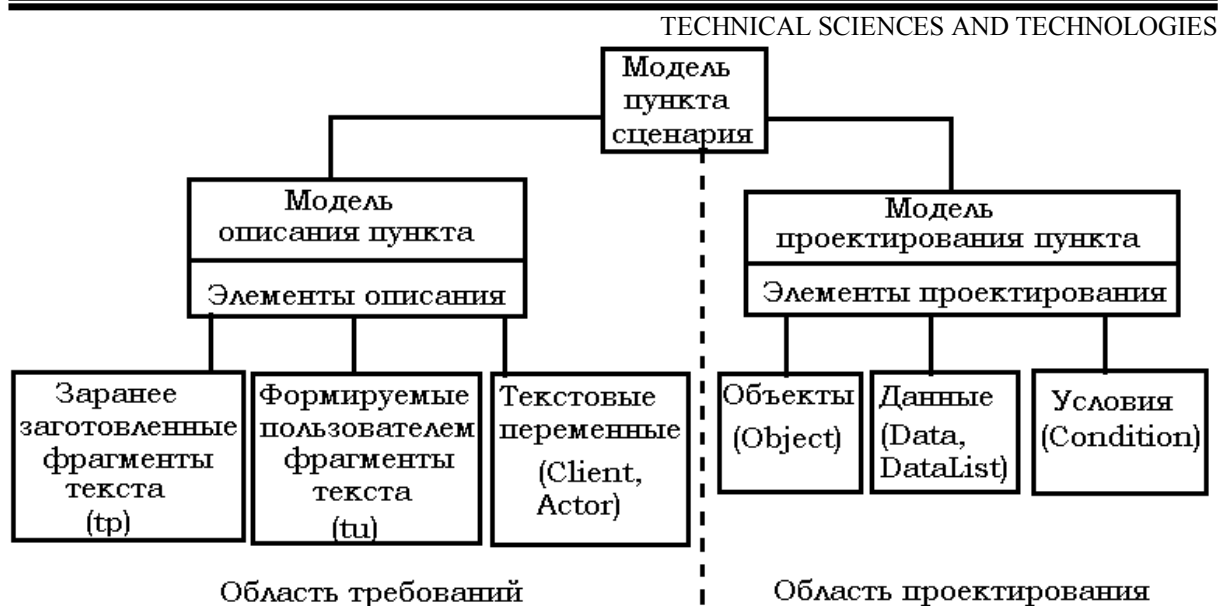


Рис. 1. Структура модели пункта сценария ВИ

В соответствии с [10] элементами описания могут быть заранее заготовленные фрагменты текста – *tpi*, фрагменты текста, формируемые в процессе составления прецедента – *tuj*, либо текстовые переменные, представляющие исполнителей и заинтересованных лиц – *Client*, *Actor*. Элементами проектирования являются объекты концептуальных классов – *Object* или ссылки на объекты – *addrKeep*, отдельные данные или их списки – *Data*, *DataList*, которые должны быть введены в ПП или получены из ПП, а также условия выполнения операций – *Condition*.

Значения данных и условий могут вводиться системным аналитиком для дальнейшего использования в процессе тестирования прецедента.

В модели используется ряд метасимволов. Отдельные элементы или группы элементов, заключенные в квадратные скобки – «[ ]», не обязательно должны присутствовать в описании пункта ВИ. Символ «+» обозначает конкатенацию строк. Символ «/» обозначает использование одного из двух элементов, разделенных этим символом.

Предлагается на основе ранее сформулированных требований и использованных для их составления документов создать словарь предметной области [11], который даст единое и согласованное толкование терминов.

**Пункт «Создать».** В [10] предполагалась следующая последовательность действий, описывающих этот пункт. Пользователь предписывает системе создать некоторый объект, который может содержать данные, используемые как в рамках данного прецедента, так и в других прецедентах. Вводимые данные в общем случае могут проходить проверку на корректность, для этого вводились соответствующие условия.

В данной редакции исходим из того, что, если объект создается в рамках пункта, то предварительно заданных условий нет. Проверять данные одновременно с вводом условий их проверки не имеет смысла. Поэтому из модели пункта исключается необязательное условие и соответствующий фрагмент текста *tp6* = "система подтверждает", а также возможная проверка атрибутов. Кроме этого, уточняем, что возможно повторение части описания. В результате описание пункта принимает вид:

$$Create = \langle N, [Client, tp1, Actor, tp2, tu1], Actor, tp3, Object[, tp5, < tu2, Data >] \rangle, \quad (1)$$

где *N* – номер пункта прецедента;

- *Client* – необязательный элемент; вводится, если требуется определить, от кого исходит инициатива;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

$tp1$  = “обращается к”;

$tp2$  = “по поводу”;

$tp3$  = “создает в системе”;

$tu1$  – текст, формируемый пользователем (например, «заказ на ремонт оборудования»);

- *Actor* – пользователь, взаимодействующий с системой (должен быть определен во введении к прецеденту);

- *Object* – имя создаваемого объекта; предусматривается проверка на отсутствие объекта с подобным именем.

При создании объекта с параметрами используется фрагмент из (1):

$tp5, < tu2, Data >$ ,

где  $tp5$  = “с параметрами”.

Кортеж  $< tu2, Data >$  определяет операцию описания и ввода значений атрибутов объекта, которая может повторяться. Здесь

$tu2$  – название атрибута, формируемое пользователем (например, № телефона);

- *Data* – значение атрибута.

**Пункт «Запросить значение».** Пользователь запрашивает у системы некоторое данное. Обычно после этого следует оценка данного пользователем. В предыдущей версии не указывались данные, на основе которых определялось выводимое значение. В данной редакции пункта добавлено определение этих данных. Например, в предыдущей версии пункт был сформулирован так: «Определить стоимость корзины...». В настоящей редакции он формулируется так: «Определить стоимость корзины на основании количества и стоимости отдельных товаров...». Описание пункта принимает вид:

$inquiry = < N, [Client, tp1, tu1, ] Actor, tp2, Data_q, tp3, Data_b, [tp4, Condition, tp5, ] tp6 >$

*Client* – необязательный элемент (вводится, если требуется определить, от кого исходит инициатива);

где  $tp1$  = “желает получить”;

$tu1$  – фраза, формируемая пользователем, например, «стоимость услуги».

$tp2$  = “вводит в систему запрос на получение”;

$Data_q = < dataName_q, addrKeep_q >$  – запрашиваемое у системы данное; *addrKeep* – название объекта содержащего данное;

$tp3$  = “на основании”;

$Data_b = < dataName_b, addrKeep_b >$  – данные, на основании которых определяется запрашиваемое значение;

$tp4$  = “при условии”;

$Condition = < textCond, addrKeep >$  – условие получения данного, например, *textCond* может быть «за прошлый месяц»; *addrKeep* – название объекта, способного проверить и выполнить условие;

$tp5$  = “Система подтверждает корректность условия”- необязательный элемент;

$tp6$  = “Система выводит + *nameData* + *Client/ Actor*+ согласен”.

**Пункт Завершить прецедент.** Предложено ввести новый пункт, который предусматривает успешное завершение прецедента. Выполнение пункта может предусматривать прием некоторых данных, которые не требуют анализа (например, ввод фамилии и адреса заказчика некоторой услуги), регистрацию определенных данных (регистрация проданного билета), создание документа (чек, квитанция об уплате услуги).

Описание пункта имеет вид:

$Finish = < N, [Elem1], [Elem2], [Elem3], tp1 >$

где  $tp1$  = "Завершение работы прецедента";

$Elem1, Elem2, Elem3$  - необязательные элементы, позволяющие принять данные, зарегистрировать транзакцию и сформировать документ соответственно.

#### **Прием данных**

$Elem1 = \langle Client / Actor, tp2, tu1, Data1, tp3, addrKeep1 \rangle$ ,

где  $tp2$  = "сообщает";

$tu1$  - название данного предоставляемого клиентом;

$Data1$  - данное, которое сообщает клиент;

$tp3$  = "Система сохраняет данное в";

$addrKeep1$  - объект, принимающий данное (объект выбирается из созданных ранее).

Операция приема данного может повторяться несколько раз.

#### **Регистрация данных**

$Elem2 = \langle tp4, Data2, tp5, addrKeep2 \rangle$

$tp4$  = "Система регистрирует данное:";

$Data2$  - регистрируемое данное (данное выбираются из списка созданных ранее);

$tp5$  = "в";

$addrKeep2$  - объект, регистрирующий данное (возможно создание нового объекта).

Операция регистрации данного может повторяться несколько раз.

#### **Создание документа**

$Elem3 = \langle tp6, Object, tp7, DataList3 \rangle$

$tp6$  = "Система выдает документ:";

$Object$  - создаваемый объект (документ);

$tp7$  = "содержащий";

$DataList3$  - список данных, включаемых в документ (данные выбираются из созданных ранее).

**Свободно конструируемый пункт.** В предыдущей версии модель пункта имела следующий вид:

$FreeConstr = \langle N, [Client, tu1, Actor, tu2] \rangle$

$tu1, tu2$  - фразы, формируемые пользователем.

Такое описание позволяло получить словесное определение пункта, но никак не определяло объекты и данные, необходимые для его реализации. Исходя из того, что пункты, входящие в классификацию, покрывают все возможные атомарные действия с проектируемой системой, в новой редакции пользователю предложено самостоятельно выбирать действия в произвольном порядке и количестве. В результате модель пункта принимает вид:

$FreeConstr = \langle N, [Client, tu1, Actor, tu2], mAction, mFinishPhr ast \rangle$ ,

где  $mAction$  - мультимножество действий, где каждый элемент соответствует одному из возможных типов пунктов сценария;

$mFinishPhr ast$  - различные варианты завершающих фраз пунктов.

#### **Элемент, соответствующий пункту «Создать»**

$elCreate = \langle tp1, Object, [tp2, ParamList, ] \rangle$

где  $tp1$  = "создает в системе";

-  $Object$  - имя создаваемого объекта; предусматривается проверка на отсутствие объекта с подобным именем;

$tp2$  = "с параметрами";

-  $ParamList$  - необязательный элемент; список атрибутов для создаваемого объекта.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Элемент, соответствующий пункту «Ввести данные»**

$elInputDat a = < [Client, tp3, tu1, ]Actor, tp4, DataList [, tp5] >$ ,

где  $tp3$  = “предоставляет данные о”;

$tp4$  = “вводит в систему”;

$tp5$  = “Система проверяет данные”;

$tu1$  – текст формируемый пользователем, например, «место проживания»;

-  $DataList = \{d_1, d_2, \dots, d_n\}$  – список вводимых данных;

Каждое данное представляет собой кортеж

$d_i = < name, addrCheck, addrKeep >$ ,

где  $name$  – наименование данного;

-  $addrCheck$  – ориентировочный адрес объекта, осуществляющего проверку данного. Если адрес отсутствует, то значение данного не проверяется,  $addrKeep$  – ориентировочный адрес объекта, сохраняющего значение данного.

**Элемент, соответствующий пункту «Выбрать из списка»**

$elSelectEl em = < [Client, tp6, ]Actor, tp7, Elem, tp8, tp9, Object >$

где  $tp6$  = “указывает на нужный элемент из списка”;

-  $tp7$  = “выбирает из списка”;

-  $Elem$  – элемент из списка;

-  $tp8$  = “и вводит его в систему.”;

-  $tp9$  = “Система фиксирует значение в”;

-  $Object$  – имя объекта, который фиксирует  $Elem$ .

**Элемент, соответствующий пункту «Ввести услугу»**

$elInputSer vice = < [Client, tp10, tu1, ]Actor, tp11, serviceName, tp12, Object >$

$tp10$  = “желает использовать”;

$tu1$  – текст, определяющий сервис (например, «осмотр ходовой части», «регулировка развала/схождения»);

$tp11$  = “вводит в систему”;

$serviceName$  – наименование сервиса. Название сервиса связано с  $Nm$  – номером пункта сценария, которому будет передано управление;

$tp12$  = “фиксируется в”;

-  $Object$  – имя объекта, который фиксирует  $serviceName$ .

**Элемент, соответствующий пункту «Повторение действий»**

$elCyclActi on = < Client / Actor, tp13, Np >$

где  $tp13$  = “желает повторить действия, начиная с пункта”

$Np$  – номер пункта сценария, расположенный выше пункта  $N$ .

**Элемент, соответствующий пункту «Запросить список»**

$elListInqu iry = < [Client, tp14, tu2, ]Actor, tp15, List, [tp16, Condition, ], tp17 >$

где  $tp14$  = “желает получить список”;

$tu2$  – фраза, формируемая пользователем, например, «предоставляемых услуг».

$tp15$  = “вводит в систему запрос на получение”;

$List = < listName, addrKeep >$  – запрашиваемый у системы список;  $listName$  – название списка,  $addrKeep$  – место хранения (формирования) списка;

$tp16$  = “при условии”;

*Condition* =< *textCond* , *addrKeep* > -условие получения данного, например, *textCond* может быть представлено текстом «за прошлый месяц»; *addrKeep* – название объекта, способного проверить и выполнить условие;

*tp17* = “Система находит и выводит *listName*”;

**Варианты фраз, завершающие пункты сценария**

*el1FinishPhrast* = “Система подтверждает корректность условия”;

*el2FinishPhrast* = “Система проверяет и подтверждает возможность выполнения услуги”.

*el3FinishPhrast* = “Система подтверждает корректность данных”;

*el4FinishPhrast* = “Система подтверждает”

*el5FinishPhrast* = *Client* + “согласен.”

*el6FinishPhrast* = *Actor* + “согласен”.

**Апробация**

В соответствии с предложенными моделями пунктов ВИ были разработаны алгоритмы их реализации. Алгоритм формирования пункта «Завершить прецедент» представлен на рис. 2.

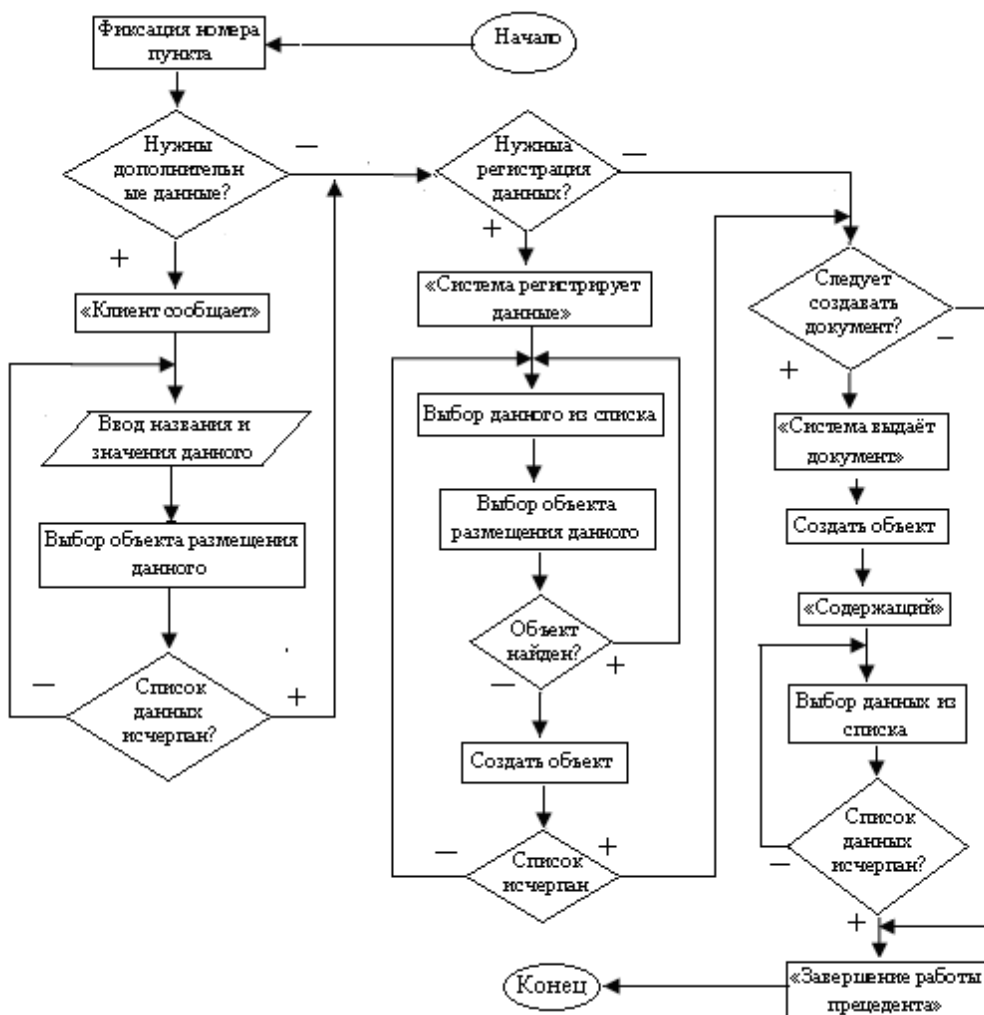


Рис. 2. Алгоритм формирования пункта сценария «Завершить прецедент»

Также была создана новая версия программного продукта UseCaseEditor1. На рис. 3 представлен пример формирования пункта прецедента.

Испытания показали сокращение времени на описание ВИ порядка 10 % за счет введения нового пункта «Завершить прецедент» вместо использовавшегося ранее «Свободно конструируемый пункт». Ситуации, когда бы потребовался «Свободно конструируемый пункт», не возникло, что косвенно указывает на полноту предложенной классификации пунктов сценариев.

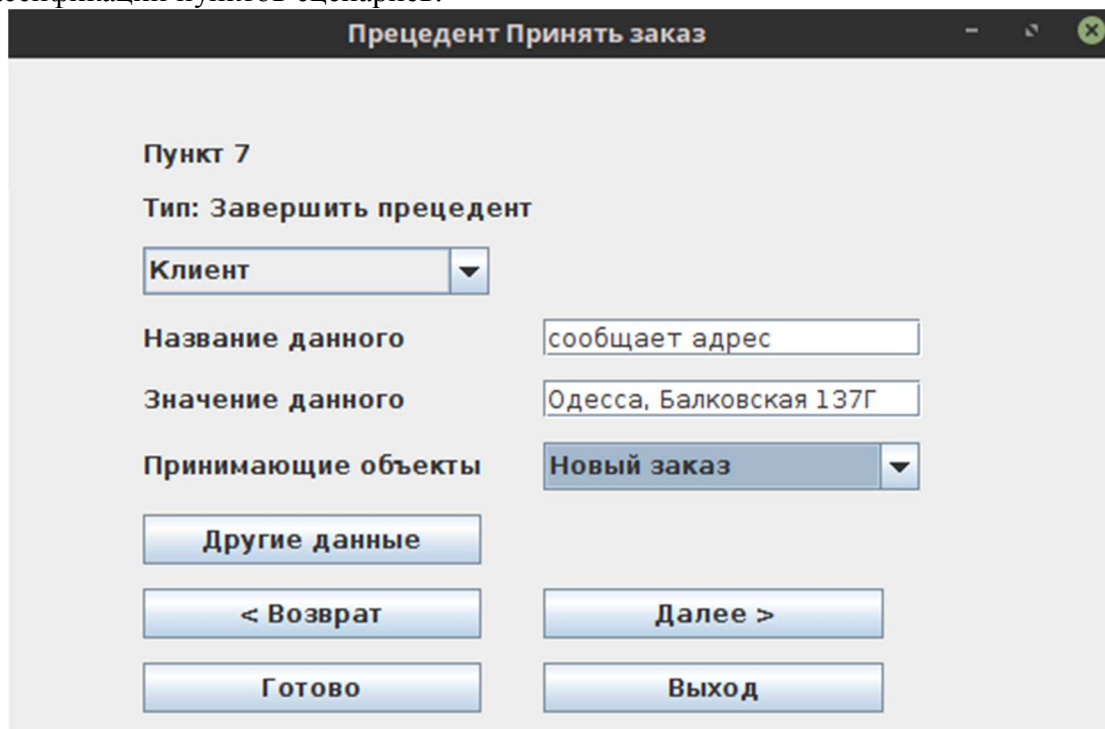


Рис. 3. Пример формирования пункта прецедента «Завершить прецедент»

**Выводы в соответствии со статьей.** Уточнена классификация возможных пунктов сценариев вариантов использования. Внесены изменения в трактовку пунктов «Создать», «Запросить значение», «Свободно конструируемый пункт». Предложен новый пункт «Завершить прецедент». Разработаны соответствующие математические модели. Принятые решения реализованы в новой версии программного продукта UseCaseEditor1. Проведенные эксперименты показали эффективность предложенной технологии в плане сокращения времени на описание прецедента и уменьшения количества ошибок.

#### Список использованных источников

1. *Прецеденты* в спецификации программ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://club.shelek.ru/viewart.php?id=232>.
2. *Создание проекта. Анализ прецедентов. Реализация прецедентов. Уточненное описание прецедента* [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vunivere.ru/work72704>.
3. *Леффингуэлл, Д. Уидриг. Принципы работы с требованиями. Унифицированный подход* / Леффингуэлл, Д. Уидриг. – М. : Вильямс, 2002. – 450 с.
4. *Алистер Коберн. Современные методы описания функциональных требований к системам* / Алистер Коберн. – М. : Лори, 2002. – 266 с.
5. *Леонов И. В. Фирма «ЭСКЕЙП». Прецеденты (use cases) и их связи. Исполнители (actors) и их связи* [Электронный ресурс] / И. В. Леонов. – Режим доступа : <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/rational/vmr2.htm>.
6. *Крэг Ларман. Применение UML 2.0 и шаблонов проектирования* / Крэг Ларман. – М. : Вильямс, 2008. – 736 с.
7. *Леноненков А. В. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML IBM и Rational Rose* / А. В. Леноненков. – М. : Бином ; ИНТУТЕ, 2006. – 320 с.

8. Буч Г. Язык UML. Руководство пользователя / Грейди Буч, Джеймс Рамбо, Айвар Джекобсон. – М. : ДМК-Пресс, 2007. – 496 с.
9. Рамбо Дж. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка / Дж. Рамбо, М. Блаха. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2007. – 544 с.
10. Возовиков Ю. Н. Информационная технология автоматизированного составления вариантов использования/ Ю. Н. Возовиков, А. Б. Кунгурцев, Н. А. Новикова// Наукові праці Донецького національного технічного університету. – Покровськ, 2017. – № 1 (30). – С. 46–59.
11. Кунгурцев А. Б. Метод автоматизированного построения толкового словаря предметной области / А. Б. Кунгурцев, Я. В. Поточняк, Д. Ф. Силяев // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 2/2(22). – С. 58–63.

### References

1. *Pretsedenty v spetsifikatsii programm [Precedents in the program specification]*. (n.d.). Retrieved from <http://club.shelek.ru/viewart.php?id=232> [in Ukrainian].
2. *Sozдание proekta. Analiz pretcedentov. Realizatsiia pretcedentov. Utochnennoe opisaniie pretcedenta [Create a project. Analysis of precedents. Implementation of precedents. Refined description of the use case]*. (n.d.). Retrieved from <http://vunivere.ru/work72704> [in Russian].
3. Leffinguell, D. U. (2002). *Printsipy raboty s trebovaniiami. Unifitsirovannyi podkhod. [Principles of work with requirements. A unified approach]*. Moscow: Viliams [in Russian].
4. Kobern, A. (2002). *Sovremennye metody opisaniia funktsionalnykh trebovanii k sistemam. [Modern methods of describing functional requirements for systems]*. Moscow: Lori [in Russian].
5. Leonov, I. V. (n.d.). *Pretsedenty (use cases) i ikh svyazi. Iсполniteli (actors) i ikh svyazi [Use cases and their connections. Performers (actors) and their connections]*. Retrieved from <http://www.interface.ru/fset.asp?Url=/rational/vmr2.htm> [in Russian].
6. Larman, K. (2008). *Primenenie UML 2.0 i shablonov proektirovaniia. [Application of UML 2.0 and design patterns]*. Moscow: Viliams [in Russian].
7. Lenonenkov, A. V. (2006). *Obektno-orientirovannyi analiz i proektirovanie s ispolzovaniem UML IBM i Rational Rose [Object-oriented analysis and design using UML IBM and Rational Rose]*. Moscow: Binom; INTUTE [in Russian].
8. Buch, G., Rambo, Dz. & Dzhekobson, I. (2007). *Iazyk UML. Rukovodstvo polzovatelia [The UML language. User guide]*. Moscow: DMK-Press [in Russian].
9. Rambo, D. & Blakha, M. (2007). *UML 2.0. Obektno-orientirovannoe modelirovanie i razrabotka [Object-oriented modeling and development]*. SPb: Piter [in Russian].
10. Vozovikov, Iu. N., Kungurtsev, O. B. & Novikova, N. O. (2017). *Informatsionnaia tekhnologiia avtomatizirovannogo sostavleniia variantov ispolzovaniia [Information technology of automated drawing up of use cases]*. *Naukovi praci Donetskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu – Scientific works of Donetsk National Technical University*, 1, 46–59 [in Russian].
11. Kungurtsev, A. B., Potochniak, Ya. V. & Siliaev, D. A. (2015). *Metod avtomatizirovannogo postroeniia tolkovogo slovaria predmetnoi oblasti [The method of automated construction of an explanatory dictionary of the subject domain]*. *Tekhnologicheskii audit i rezervy proizvodstva – Technological audit and production reserves*, 2, 58–63 [in Russian].

UDC 004.912

*Oleksii Kungurtsev, Nataliia Novikova, Maria Reshetnyak, Yana Cherepinina*

### UPDATED CLASSIFICATIONS AND MODELS OF SCENARIOS OF USE CASES

**Urgency of the research.** *Use cases are one of the important ways of presenting functional requirements to the projected information systems. Their description is quite a complicated and time-consuming process. Therefore, studies aimed at automating this process are relevant.*

**Target setting.** *To automate the description of use cases, it is necessary to develop classification and modeling of scenario items. In this paper, the problem of adjusting the existing classification of items of use cases.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *The latest publications on the application of use cases were considered. Based on the classification proposed in the work “Information technology automated generation of use cases”.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Creating a model for the “Completing of the precedent” item.*

**The research objective.** *Correction of classifications of items of use cases, creation and modification of model points of scenarios.*

**The statement of basic materials.** *An improved model for describing the use cases, reflecting both the functional requirements and the conceptual classes of the projected software product is proposed. Classification of points of the scenario of use cases is supplemented with a new item “Complete use case”. Changes have been made to previously proposed models and new models have been created for the items in the “Create”, “Request value”, “User actions that do not fit into the proposed*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

classification". The corresponding algorithms have been created and the software product has been modernized, supporting the technology of automated generation of use cases.

**Conclusions.** The implementation of the proposed models and algorithms allowed to reduce the time for describing the use cases to 10 %, and also to create models of conceptual classes for the projected software product.

**Keywords:** use cases; scenarios; models; precedents; conceptual classes.

Fig.: 3. References: 11.

УДК 004.912

Олексій Кунгурцев, Наталія Новікова, Марія Решетняк, Яна Черепініна

## УТОЧНЕННЯ КЛАСИФІКАЦІЇ І МОДЕЛЕЙ ПУНКТИВ СЦЕНАРІЇВ ВАРІАНТІВ ВИКОРИСТАННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Варіанти використання є одним з важливих способів подання функціональних вимог до інформаційних систем, що проектуються. Їх опис – досить складний і трудомісткий процес. Тому дослідження, спрямовані на автоматизацію цього процесу, є актуальними.

**Постановка проблеми.** Для автоматизації опису варіантів використання необхідна розробка класифікації та моделювання пунктів сценаріїв. У цій роботі вирішується проблема коригування наявної класифікації пунктів варіантів використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації з теми застосування варіантів використання. За основу прийнята класифікація, запропонована в роботі «Інформаційна технологія автоматизованого складання варіантів використання».

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Створення моделі для пункту «Завершення прецеденту».

**Постановка завдання.** Коригування класифікації пунктів варіантів використання, створення і внесення змін у моделі пунктів сценаріїв.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновано удосконалену модель опису варіантів використання, що відображає як функціональні вимоги, так і концептуальні класи проєктованого програмного продукту. Класифікація пунктів сценаріїв варіантів використання доповнено новим пунктом «Завершити варіант використання». Внесено зміни в раніше запропоновані моделі й створені нові моделі для пунктів сценаріїв «Створити», «Запросити значення», «Вирішення проблеми, які не вкладаються в запропоновану класифікацію». Створено відповідні алгоритми і виконана модернізація програмного продукту, що підтримує технологію автоматизованого складання варіантів використання.

**Висновки відповідно до статті.** Реалізація запропонованих моделей і алгоритмів дозволила скоротити час на опис варіантів використання до 10 %, а також створити моделі концептуальних класів для проєктованого програмного продукту.

**Ключові слова:** варіанти використання; сценарії; моделі; прецеденти; концептуальні класи.

Рис.: 3. Бібл.: 11.

**Кунгурцев Алексей Борисович** – кандидат технических наук, профессор, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Кунгурцев Олексій Борисович** – кандидат технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Kungurtsev Oleksii** – PhD in Technical Sciences, Professor, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** abkun@te.net.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3207-7315>

**Новікова Наталія Алексеевна** – старший преподаватель, Одесский национальный морской университет (ул. Мечникова, 34, г. Одесса, 65029, Украина).

**Новікова Наталія Олексіївна** – старший викладач, Одеський національний морський університет (вул. Мечнікова, 34, м. Одеса, 65029, Україна).

**Novikova Nataliia** – Senior Lecturer, Odessa national maritime University (34 Mechnikova Str., 65029 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** nataliya.novikova.31@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6257-9703>

**Решетняк Мария Юрьевна** – бакалавр, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Решетняк Марія Юрїївна** – бакалавр, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Reshetnyak Maria** – bachelor, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** 0957011250m@gmail.com

**Черепініна Яна Віталіївна** – бакалавр, Одесский национальный политехнический университет (просп. Шевченко, 1, г. Одесса, 65044, Украина).

**Черепініна Яна Віталіївна** – бакалавр, Одеський національний політехнічний університет (просп. Шевченка, 1, м. Одеса, 65044, Україна).

**Cherepinina Yana** – bachelor, Odessa National Polytechnic University (1 Shevchenko Av., 65044 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** cherepinina98@gmail.com



УДК 621.29(045)

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-89-96

Роман Одарченко, Людмила Харлай

## МЕТОД РЕЗЕРВУВАННЯ РЕСУРСІВ ТА БАЛАНСУВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ В ТРАНСПОРТНІЙ МЕРЕЖІ З УРАХУВАННЯМ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕРЕЖІ

**Актуальність теми дослідження.** Фактична якість обслуговування абонентів стільникових мереж в Україні перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність наявних методів планування та експлуатації як радіопідмереж, так і транспортних сегментів. Тому підвищення ефективності мережі є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** З метою усунення проблем, пов'язаних із неефективним використанням доступного ресурсу транспортних мереж, було вперше розроблено метод резервування ресурсів та балансування навантаження в транспортній мережі, що дозволяє більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора (їх утилізації), а як результат – підвищити ефективність транспортних мереж.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У теорії управління мережами зв'язку наукою накопичено значний теоретичний матеріал та практичний досвід, причому вагомий внесок у розвиток моделей та методів управління мережними ресурсами зробили вітчизняні та закордонні вчені.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Вирішення наведених проблем відкривають можливість виявити і запропонувати нові практичні шляхи підвищення ефективності стільникових мереж LTE під час їх впровадження в Україні на основі використання нових методів оптимізації транспортних сегментів, резервування обладнання та каналів зв'язку.

**Виклад основного матеріалу.** Для ефективного дослідження та вирішення поставленої задачі розподілення навантаження важливо адекватно математично описати роботу маршрутизатора. Така математична модель повинна відображати функціональну сторону роботи маршрутизатора, а для прийняття рішень з управління повинна бути підкріплена інформацією про структуру і функціонування мережі.

**Висновки відповідно до статті.** Результати чисельного моделювання показали, що запропонований метод дозволяє більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора (їх утилізації), тобто в результаті підвищити ефективність транспортних мереж.

**Ключові слова:** балансування навантаження; резервування; транспортна мережа; пропускну здатність; утилізація каналів.

Рис.: 2. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Щоб впоратися зі зростаючим об'ємом трафіку, залишаючись при цьому прибутковими, стільниковим операторам необхідно впроваджувати більш швидкісні й економічні радіотехнології, підвищувати просторову ефективність шляхом розгортання малих мереж і забезпечувати збалансований розвиток транспортних мереж. Фактична якість обслуговування абонентів стільникових мереж в Україні перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність наявних методів планування та експлуатації як радіопідмереж, так і транспортних сегментів. Тому підвищення ефективності мережі є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Основною метою змін телекомунікаційних технологій є збільшення якості та збільшення спектра інформаційно-телекомунікаційних послуг. Серед головних змін слід зазначити використання технології all-over-IP («все по IP») з конвергенцією різномірного трафіку в межах єдиної IP-мережі, підвищення вимог до швидкості передачі на всіх ділянках мережі, а також виникнення потреб користувачів у декількох видах послуг (передача даних та інтерактивного відео) із заданим рівнем якості обслуговування.

У нинішніх умовах є потреба в ефективних методах керування потоками трафіку, що враховували б різномірність трафіку. Водночас в оператора повинні бути засоби управління потоками, що дозволяли б гарантувати певний рівень якості послуг для кожного окремого абонента, який отримує індивідуальний інформаційний потік. Розподілення навантаження підвищує інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну здатність мережі загалом. Основною складністю у вирішенні поставленої задачі є те, що за умови різної вартості маршрутів складно досягнути виконання вимог стосовно якості обслуговування.

Також потрібно пам'ятати, що мережа являє собою складний розподілений об'єкт, передбачити поведінку якого в наступний момент часу не є можливим. У більшості ви-

падків гарантована якість обслуговування може бути забезпечена тільки при виділенні віртуального каналу, який передбачає наявність одного маршруту з показниками продуктивності, які вимагаються. У подібних умовах виникають ситуації, коли альтернативні маршрути будуть недовантажені, а забезпечити рівномірне завантаження мережі можливо буде лише пакетами, які не будуть чутливі до параметрів якості обслуговування.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** У теорії управління мережами зв'язку наукою накопичено значний теоретичний матеріал та практичний досвід, причому вагомий внесок у розвиток моделей та методів управління мережними ресурсами зробили вітчизняні та закордонні вчені, серед яких Kleinrok L., Gallager R., Ford L. R., Fulkeron D. R., Гольдштейн Б. С., Стеклов В. К., Вінницький В. П., Яновський Г. Г., Димарський Я. С., Романов О. І., Глоба Л. С., Уривський Л. О., Кравчук С. О. та ін. [1–5]. Проте слід зауважити, що в їхніх працях відсутнє врахування поточної завантаженості каналу зв'язку, резервування певних ресурсів для нових сервісів або VIP-клієнтів.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є розробка методу резервування ресурсів та одночасного балансування навантаження з урахуванням різних параметрів якості обслуговування абонентів у транспортній мережі, який дозволить підвищити інтенсивність використання мережевих сегментів, а значить і ефективну пропускну спроможність мережі загалом.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Метод резервування ресурсів транспортної мережі стільникового оператора, який полягає в послідовному резервуванні каналів зв'язку, резервуванні програмно-апаратних елементів обладнання, представлення структури середовища резервування та пошуку оптимального числа резервних мережних вузлів з урахуванням обмежуючих факторів, дозволив забезпечити необхідний рівень надійності та якості надання послуг абонентам мереж стільникового зв'язку, метод балансування навантаження в транспортній мережі, що полягає в послідовному визначення основних характеристик мережі, оцінці необхідного резерву каналів зв'язку, виборі оптимальних маршрутів для відправки пакетів з урахуванням можливостей балансування навантаження, дозволив більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора.

**Виклад основного матеріалу.** Для ефективного дослідження та вирішення поставленої задачі розподілення навантаження важливо адекватно математично описати роботу маршрутизатора. Така математична модель повинна відображати функціональну сторону роботи маршрутизатора, а для прийняття рішень з управління повинна бути підкріплена інформацією про структуру і функціонування мережі. По суті, маршрутизатор являє собою накопичувач з набором входів, через які надходить трафік, і набором виходів, через які трафік пересилається до наступних мережевих пристроїв. Тому модель маршрутизатора будемо розглядати як динамічну.

Процес маршрутизації з урахуванням балансування навантаження за маршрутами з різною вартістю показаний на рис. 1 [1].

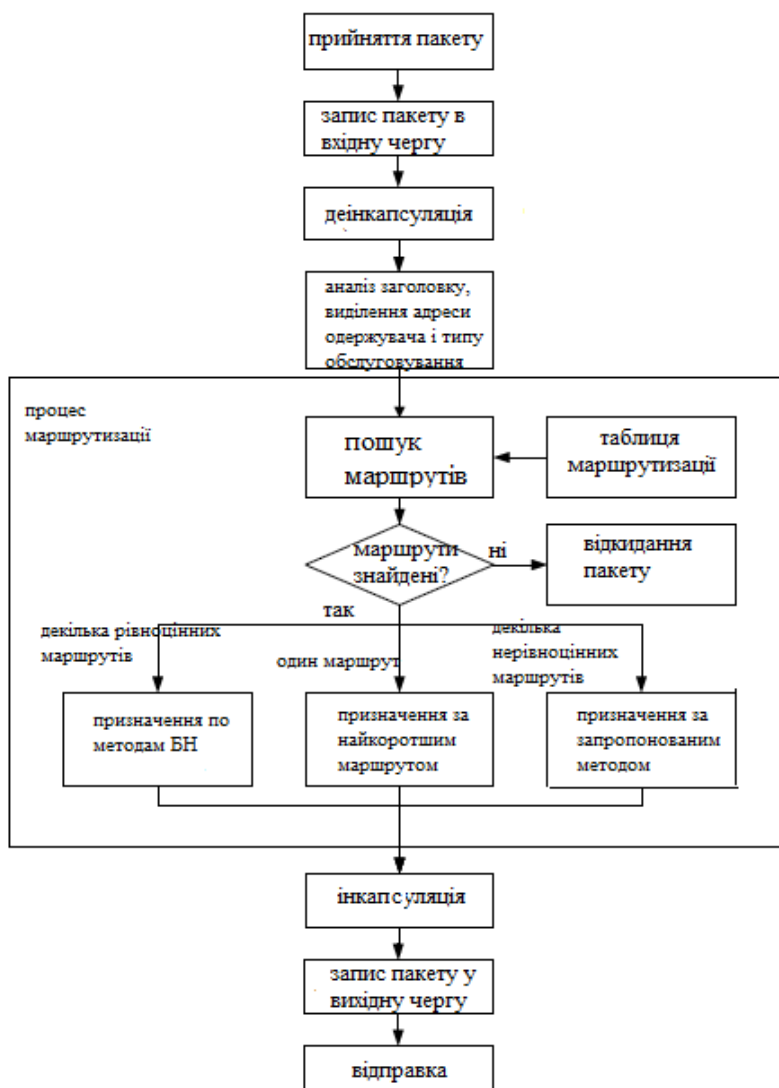


Рис. 1. Маршрутизація з балансуванням навантаження

Для забезпечення справедливої утилізації каналів транспортних мереж під час висщерозглянутої маршрутизації було розроблено метод резервування ресурсів та балансування навантаження.

Основними відмінностями цього методу від більшості існуючих є те, що він динамічний, а також дозволяє розподіляти навантаження залежно від стану каналів між альтернативними маршрутами з різною вартістю, при цьому відбувається врахування необхідного резерву в каналі зв'язку.

Процес маршрутизації з урахуванням балансування навантаження та резервування ресурсів за маршрутами з різною вартістю наступний.

*Етап 1* – Визначення основних характеристик мережі. Проводиться визначення пропускної здатності  $B(v,u)$ , затримки в мережі  $D(v,u)$ , завантаженості каналів  $L(v,u)$  за допомогою відомих службових або сигналізаційних протоколів стека TCP/IP [5].

*Етап 2* – Визначення необхідного резерву в каналі зв'язку. Для цього скористаємось результатами проведеного опитування з метою визначення сервісів, якими користуються абоненти стільникових мереж залежно від часу доби та дня тижня.

Опитування було проведено серед 1500 респондентів. Всього було представлено 9 запитань, що стосуються конкретних послуг мобільного зв'язку: Голосові виклики, VoIP; Відеозв'язок (Skype, Viber тощо); Відеоконференція; WEB-серфінг; Google Maps,

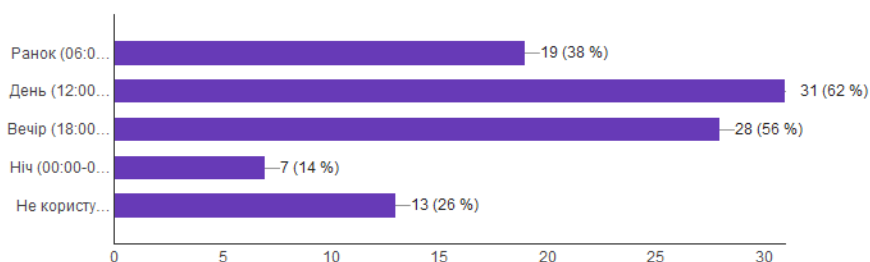
TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Яндекс Карти тощо; Перегляд відео (YouTube тощо); Відеострімінг (IPTV тощо); Ігри (Realtime); Соціальні мережі (Facebook, VK тощо).

У відповіді респондент мав обрати час доби, в який він користується даною послугою (у тому числі – цілодобово, або ж взагалі не користується). запропоновані варіанти відповідей: Ранок (06:00 – 12:00); День (12:00 – 18:00); Вечір (18:00 – 00:00); Ніч (00:00 – 06:00); Не користуюся послугою.

На рис. 2 частково представлені результати проведеного опитування.

Голосові виклики, VoIP (50 ответов)



Відеозв'язок (Skype, Viber тощо) (49 ответов)

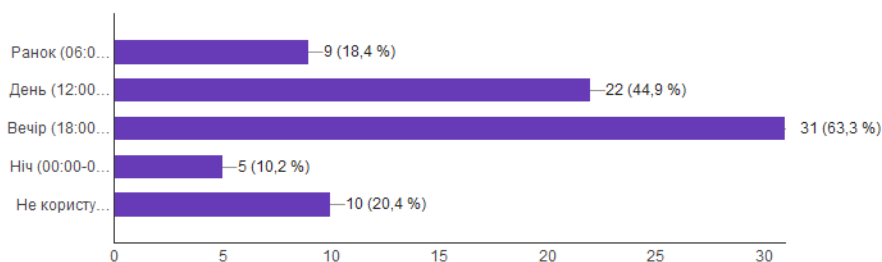


Рис. 2. Результати опитування абонентів стільникового зв'язку

Тоді для типової БС необхідно буде зарезервувати пропускну здатність каналу транспортної мережі  $R(v, u) = \sum_{i=1}^n N_i \cdot C_i$ , де  $N_i$  – кількість абонентів, що користуються  $i$ -м сервісом, необхідна пропускну здатність для якого становить  $C_i$ . На основі аналізу статистичних даних за тривалий проміжок часу можна розробити розклад резервування ресурсів транспортної мережі стільникового оператора. Сумарна необхідна зарезервована пропускну здатність каналу визначається таким алгоритмом.

За аналізом результатів опитування можна проводити оцінювання необхідної пропускну здатності радіоінтерфейсів базових станцій (БС):

$$C_{serv} = \begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \dots \\ C_9 \end{pmatrix}, N_t = \begin{pmatrix} N_{1,1} & N_{1,2} & N_{1,3} & N_{1,4} \\ N_{2,1} & N_{2,2} & N_{2,3} & N_{2,4} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ N_{9,1} & N_{9,2} & N_{9,3} & N_{9,4} \end{pmatrix}.$$

$$C_{sum} = C_{serv} \cdot N_t$$

де  $t = 1, 2, 3, 4$  (1 – ранок; 2 – день; 3 – вечір; 4 – ніч);

$C_{serv}$  – необхідна пропускну здатність каналу для забезпечення якісного надання послуг;

$N_t$  – кількість абонентів стільникового зв'язку, що користуються певними послугами в певні проміжки часу.

Слід зауважити, що розрахована сумарна пропускна здатність не повинна перевищувати пропускну здатність, що виділяється БС, тобто:

$$C_{sum} \leq C_{БС}.$$

*Етап 3* – Вибір оптимального маршруту для відправки пакета. У ролі метрики маршруту запропоновано використовувати інтегрований критерій:

$$M(v, u) = k_1 \cdot B(v, u) + \frac{k_2 \cdot B(v, u)}{B(v, u) - L(v, u) - R(v, u)} + k_3 \cdot D(v, u),$$

де  $B(u, v) = \min(b(i, j)), \forall e(i, j) \in P(v, u)$  - пропускна здатність каналу;

$$D(v, u) = \sum_{\forall e(i, j) \in P(v, u)} (t_i + t_{e(i, j)}); L(v, u) - \text{завантаженість каналу}; R(v, u) - \text{зарезервована}$$

на пропускна здатність по кожному маршруту;  $k_1$  - ваговий коефіцієнт пропускну здатності;  $k_2$  - ваговий коефіцієнт завантаження каналу;  $k_3$  - ваговий коефіцієнт затримки. При цьому вибір вагових коефіцієнтів відбувається на основі класової моделі обслуговування в IP мережах та на основі принципів арифметичної прогресії.

*Етап 4* – Балансування мережних ресурсів. Кожен вузол мережі характеризується такими показниками:  $\sum_{i=1}^l \lambda_i^{in}$  - загальна інтенсивність інформаційного трафіку;  $\sum_{i=1}^l \lambda_i^{out}$  -

загальна вихідна інтенсивність;  $\sum_{i=1}^l c_i$  - загальна пропускна здатність (ПЗ) каналів зв'язку (КЗ) мережі;  $l$  - кількість суміжних вузлів та КЗ для зв'язку з ними.

Балансування мережних ресурсів у моделі здійснюється шляхом знаходження вектора розподілу потоку (ВРП) такого виду:

$$\vec{K} = (k_1, k_2, \dots, k_l), \quad \sum_i k_i = 1. \quad (1)$$

Кожен елемент цього вектора характеризує частку вихідного з вузла трафіку, що передається по відповідному КЗ у суміжний вузол. Через фізичне подання цього вектора та з метою запобігання перевантажень каналів і вузлів ТКС на елементи вектора (1) накладаються такі обмеження:

$$0 \leq k_i \leq 1, \quad i = \overline{1..l}; \quad (2)$$

$$\lambda_i^{out} k_i \leq c_i, \quad i = \overline{1..l}. \quad (3)$$

У межах описаної моделі функціонування транспортної мережі задача управління мережними ресурсами зводиться до розв'язання оптимізаційної задачі, яка пов'язана з мінімізацією функціонала, в умовах наявності обмежень (2); (3)

$$\varepsilon(\vec{K}) = \min(q_1 \Phi + q_2 \sigma_1(\vec{K}) + q_3 \sigma_2(\vec{K})), \quad (4)$$

де  $q_1, q_2, q_3$  - вагові коефіцієнти, які характеризують умовну вартість балансування по метриці, завантаженості каналів та вузлів мережі;  $\sigma_1(\vec{K})$  - середньоквадратичне відхилення (СКВ) завантаженості каналів  $x_i, i = \overline{1..l}$ ;

$$\sigma_1(\vec{K}) = \sqrt{\frac{1}{l-1} \sum_{i=1}^l (x_i - \bar{x})^2};$$

$\sigma_2(\vec{K})$  - СКВ завантаженості локального та суміжних вузлів  $Z_i, i = \overline{1..l}$ ;

$$\sigma_2(\bar{K}) = \sqrt{\frac{1}{1-1} \sum_{i=1}^1 (z_i - \bar{Z})^2};$$

$\Phi$  – метрика протоколу маршрутизації або вартість каналів зв'язку.

Проведений аналіз показав, що найбільш ефективними засобами мінімізації цільового функціоналу управління мережними ресурсами (4) є засіб пропорційного розподілення (ЗПР) та градієнтний метод мінімізації з послідовним наближенням, причому ЗПР є більш простим і швидким засобом, а градієнтний метод – більш адекватним, оскільки дозволяє врахувати мінімізацію усіх трьох складових (4).

**Висновки відповідно до статті.** За аналізом якості обслуговування абонентів стільникових мереж 3G в Україні встановлено, що фактична якість обслуговування абонентів перебуває на досить низькому рівні, що свідчить про низьку ефективність наявних методів планування транспортних підсистем та методів керування ними. Тому з метою усунення цих недоліків було вперше розроблено метод резервування ресурсів та балансування навантаження в транспортній мережі, що полягає у послідовному визначення основних характеристик мережі, оцінці необхідного резерву каналів зв'язку, виборі оптимальних маршрутів для відправки пакетів з урахуванням можливостей балансування навантаження. Результати чисельного моделювання показали, що запропонований метод дозволяє більш ефективно використати пропускну здатність каналів транспортної мережі стільникового оператора (їх утилізації), тобто в результаті підвищити ефективність транспортних мереж.

#### Список використаних джерел

1. Одарченко Р. С. Метод балансування навантаження в опорній мережі стільникового оператора / Р. С. Одарченко, А. О. Абакумова // Наукоємні технології. – 2016. – № 4. – С. 369–375.
2. Погорілий С. Д. Особливості застосування генетичного алгоритму балансування навантаження в мережі / С. Д. Погорілий, Р. В. Білоус // Проблеми програмування. – 2012. – № 2-3. – С. 85–92.
3. Бак Р. І. Метод балансування абонентського навантаження мережі коміркового зв'язку / Р. І. Бак, І. Б. Чайковський, Р. А. Бурачок // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Радіоелектроніка та телекомунікації. – 2013. – № 766. – С. 110–115.
4. Тихвинский В. О. Сети мобильной связи LTE. Технологии и архитектура / В. О. Тихвинский, С. В. Терентьев, А. Б. Юрчук. – М. : Эко-Трендз, 2010. – 284 с.
5. 3GPP TS 36.300, V8.6.0, “UTRAN and EUTRAN overall description, stage 2”, September 2008.
6. Website of J'son & Partners Consulting – Backhaul networks for broadband mobile communication [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.json.ru/en/poleznye\\_materialy/free\\_market\\_watches/analytics/transportnye\\_seti\\_backhaul\\_dlya\\_setej\\_shirokopolosnoj\\_mobilnoj\\_svyazi\\_tendencii\\_i\\_perspektivy\\_razvitiya\\_v\\_rossii\\_i\\_v\\_mire](http://www.json.ru/en/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/transportnye_seti_backhaul_dlya_setej_shirokopolosnoj_mobilnoj_svyazi_tendencii_i_perspektivy_razvitiya_v_rossii_i_v_mire).
7. Daniel E. Eisenbud, Cheng Yi, Carlo Contavalli, Cody Smith, Roman Kononov, Eric Mann-Hielscher, Ardas Cilingeroglu, Bin Cheyney, Wentao Shang, Jinnah Dylan Hosein. Maglev: A Fast and Reliable Software Network Load Balancer [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://research.google.com/pubs/pub44824.html>.
8. Wenhao Lin, Richard S. Wolff, Brendan Mumey: A Markov-Based Reservation Algorithm for Wavelength Assignment in All-Optical Networks. Journal of lightwave technology, vol. 25, no. 7, July 2007, 1676–1683.
9. A. Kalia, D. Zhou, M. Kaminsky, and D. G. Andersen. Raising the bar for using gpus in software packet processing. In Proceedings of NSDI, 2015.
10. V.K. Garg: Wireless Communications and Networking, Elsevier Morgan Kaufmann, San Francisco, California, USA, 2007.
11. Shakil Akhtar 2G-5G Networks: Evolution of Technologies, Standards, and Deployment. – 2010.

## References

1. Odarchenko, R. S. & Abakumova, A. O. (2016). Metod balansuvannia navantazhennia v opornii merezhi stilnykovoho operatora [Load balancing method in the core network of mobile operators]. *Naukoiemni tekhnolohi – Science-Based Technologies*, 4, 369–375 [in Ukrainian].
2. Pohorilyi, S. D. & Bilous, R. V. (2012). Osoblyvosti zastosuvannia henetychnoho alhorytmu balansuvannia navantazhennia v merezhi [Features of application of genetic algorithm of balancing of load in a network]. *Problemy prohramuvannia – Problems of programming*, 2-3, 85–92 [in Ukrainian].
3. Bak, R. I., Chaikovskiy, I. B. & Burachok, R. A. (2013). Metod balansuvannia abonentskoho navantazhennia merezhi komirkovoho zviazku [Method of subscriber network load balancing in cellular network]. *Visnyk Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnika». Radioelektronika ta telekomunikatsii – Herald of Lviv Polytechnic National University, Series of Radio Electronics and Telecommunication*, 766, 110–115 [in Ukrainian].
4. Tikhvinskii, V. O., Terentev, S. V. & Iurchuk, A. B. (2010). *Seti mobilnoi svyazi LTE. Tekhnologii i arkhitektura [LTE mobile networks. Technology and architecture]*. Moscow: Eko-Trendz [in Russian].
5. ETSI TS 136 300 V8.6.0 (2008-10). 3GPP TS 36.300, V8.6.0, “UTRAN and EUTRAN overall description, stage 2”. (n.d.). [www.etsi.org](http://www.etsi.org). Retrieved from [https://www.etsi.org/deliver/etsi\\_ts/136300\\_136399/136300/08.02.00\\_60/ts\\_136300v080200p.pdf](https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136300_136399/136300/08.02.00_60/ts_136300v080200p.pdf) [in English].
6. Site of J'son & Partners Consulting. (2016) . [www.json.ru](http://www.json.ru). Backhaul networks for broadband mobile communication. Retrieved from [http://www.json.ru/en/poleznye\\_materialy/free\\_market\\_watches/analytics/transportnye\\_seti\\_backhaul\\_dlya\\_setej\\_shirokopolosnoj\\_mobilnoj\\_svyazi\\_tendencii\\_i\\_perspektivy\\_razvitiya\\_v\\_rossii\\_i\\_v\\_mire](http://www.json.ru/en/poleznye_materialy/free_market_watches/analytics/transportnye_seti_backhaul_dlya_setej_shirokopolosnoj_mobilnoj_svyazi_tendencii_i_perspektivy_razvitiya_v_rossii_i_v_mire) [in English].
7. Eisenbud, D. E., Cheng, Yi, Contavalli, C., Smith, C., Kononov, R. Mann-Hielscher, E. (2016). A Fast and Reliable Software Network Load Balancer. *research.google.com*. Retrieved from <https://research.google.com/pubs/pub44824.html> [in English].
8. Lin, W., Wolff, R. S. & Mumey, B. (2007). A Markov-Based Reservation Algorithm for Wavelength Assignment in All-Optical Networks. *Journal of lightwave technology*, 7(25), 1676-1683. Retrieved from <https://www.osapublishing.org/jlt/abstract.cfm?uri=jlt-25-7-1676> [in English].
9. Kalia, A., Zhou, D., Kaminsky, M. & Andersen, D. G. (2015). Proceeding of NSDI'15 “Raising the bar for using gpus in software packet processing”. Networked Systems Design and Implementation (409-423). Retrieved from <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2789799> [in English].
10. Garg, V. K. (2007). *Wireless Communications and Networkin*. San Fransisco: Morgan Kaufmann Publishers [in English].
11. Shakil, A. (2010). *2G-5G Networks: Evolution of Technologies, Standards, and Deployment*. [in English].

UDC 621.29(045)

Roman Odarchenko, Liudmyla Kharlay

## THE METHOD OF RESOURCES RESERVATION AND BALANCING OF LOADING IN THE TRANSPORT NETWORK WITH BASIC CHARACTERISTICS OF NETWORK

**Urgency of the research.** Actual quality of maintenance of subscribers of cellular networks in Ukraine is at low enough level which testifies to low efficiency of existent methods of planning and exploitation as radio of subnet so transport segments. Therefore an increase of network efficiency is an actual task.

**Target setting.** With the purpose of removal of problems, related to the ineffective use of accessible resource of transport networks the method of backuping of resources and balancing of loading was first developed in a transport network, that allows more effectively using the carrying capacity of ductings of a transport network of cellular operator (their utilizations), but as to promote a result efficiency of transport networks.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In the theory of management of connection networks science is accumulate considerable theoretical material and practical experience, thus a ponderable contribution to development of models and methods of management network resources was done by domestic and foreign scientists.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The decisions of the resulted problems open possibility to discover and offer the new practical ways of increase of efficiency of cellular networks of LTE during their introduction in Ukraine on the basis of the use of new methods of optimization of transport segments, backuping of equipment and ductings of connection.

**The statement of basic materials.** For effective research and solution of the task of load distribution, it is important to adequately mathematically describe the operation of the router. Such a mathematical model should reflect the functional side of the router's work, and for making management decisions should be supported by information about the structure and functioning of the network.

**Conclusions.** The results of numeral design rotined that the offered method allowed more effectively to use the carrying capacity of ductings of a transport network of cellular operator (their utilizations), that as a result to promote efficiency of transport networks.

**Keywords:** balancing of loading; backuping; transport network; carrying capacity; utilization of ductings.

Fig.: 2. References: 11.

УДК 621.29(045)

Роман Одарченко, Людмила Харлай

## МЕТОД РЕЗЕРВИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ И БАЛАНСИРОВКИ НАГРУЗКИ В ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ

**Актуальность темы исследования.** Фактическое качество обслуживания абонентов сотовых сетей в Украине находится на достаточно низком уровне, что свидетельствует о низкой эффективности существующих методов планирования и эксплуатации как радиоподсетей, так и транспортных сегментов. Поэтому повышение эффективности сети является актуальной задачей.

**Постановка проблемы.** С целью устранения проблем, связанных с неэффективным использованием доступного ресурса транспортных сетей, впервые разработан метод резервирования ресурсов и балансировки нагрузки в транспортной сети, что позволяет более эффективно использовать пропускную способность каналов транспортной сети сотового оператора (утилизации), а как результат – повысить эффективность транспортных сетей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В теории управления сетями связи наукой накоплен значительный теоретический материал и практический опыт, причем весомый вклад в развитие моделей и методов управления сетевыми ресурсами сделали отечественные и зарубежные ученые.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Решение указанных проблем открывают возможность выявить и предложить новые практические пути повышения эффективности сотовых сетей LTE во время их внедрения в Украине на основе использования новых методов оптимизации транспортных сегментов, резервирования оборудования и каналов связи.

**Изложение основного материала.** Для эффективного исследования и решения поставленной задачи распределения нагрузки важно адекватно математически описать работу маршрутизатора. Такая математическая модель должна отражать функциональную сторону работы маршрутизатора, а для принятия решений по управлению должна быть подкреплена информацией о структуре и функционировании сети.

**Выводы в соответствии со статьей.** Результаты численного моделирования показали, что предложенный метод позволяет более эффективно использовать пропускную способность каналов транспортной сети сотового оператора (утилизации), то есть в результате повысить эффективность транспортных сетей.

**Ключевые слова:** балансировка нагрузки; резервирования; транспортная сеть; пропускная способность; утилизация каналов.

Рис.: 2. Библ. 11.

**Одарченко Роман Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора з науково-методичної роботи, Інститут аеронавігації Національного авіаційного університету (просп. Космонавта Комарова, 1, м. Київ, 02000, Україна).

**Одарченко Роман Сергеевич** – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора по научно-методической работе, Институт аэронавигации Национального авиационного университета (просп. Космонавта Комарова, 1, г. Киев, 02000, Украина).

**Odarchenko Roman** – PhD in Technical Sciences, Vice-director of Educational and Scientific Institute of Air Navigation Vice-Head of NAU Young Scientists Association (1 Cosmonaut Komarov blvd. 02000 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** odarchenko.r.s@ukr.net

**ResearcherID:** E-9845-2017

**Харлай Людмила Олексіївна** – здобувач, викладач-методист вищої категорії, голова комісії інформаційних мереж зв'язку, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Харлай Людмила Алексеевна** – соискатель, преподаватель-методист высшей категории, председатель комиссии информационных сетей связи, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Kharlay Liudmyla** – applicant, the teacher-methodologist of the highest category, the head of the Information Communication Networks Department, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str, 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** Lharlay@i.ua



УДК 004.9

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-97-105

Андрій Акименко, Ольга Башинська, Володимир Казимир,  
Юрій Камак, Сергій Нестеренко

## ОБҐРУНТУВАННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БЕЗПІЛОТНИМИ АВІАЦІЙНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), зростання їхньої складності, вартості створення та експлуатації вимагають підвищеної уваги до якості функціонування систем керування комплексом. Оцінка якості системи керування є однією з важливих проблем, що постають перед розробниками безпілотних комплексів, оскільки немає загального підходу до формування переліку показників якості як для систем керування взагалі, так і для БпАК зокрема. Тому існує потреба в розробці методу формування узагальненої номенклатури показників якості системи керування БпАК для отримання кількісної оцінки якості функціонування системи керування.

**Постановка проблеми.** Здатність системи керування БпАК задовольняти вимогам експлуатації визначається через сукупність показників якості, які мають кількісні характеристики, що підлягають вимірюванню. Але на сьогодні немає науково обґрунтованого підходу до формування номенклатури показників якості системи керування БпАК.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто останні публікації у відкритому доступі, включаючи національні стандарти забезпечення якості.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка науково обґрунтованої технології формування номенклатури показників якості системи керування БпАК.

**Постановка завдання.** Створення номенклатури показників якості системи керування БпАК на основі відомих показників якості БпАК, з урахуванням сучасних вимог щодо його функціонування.

**Виклад основного матеріалу.** Для формування номенклатури показників якості системи керування БпАК пропонується метод, що використовує групи показників якості БпАК та програмного забезпечення системи керування БпАК. Метод базується на гомоморфності номенклатур систем суміжних до системи керування БпАК.

**Висновки відповідно до статті.** Запропонована концепція формування показників якості системи керування безпілотних авіаційних комплексів та розроблена інформаційна технологія, що дозволяє сформувати номенклатуру показників якості системи керування БпАК.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати; безпілотні авіаційні комплекси; система керування БпАК; показники якості системи керування; якість.

Рис.: 3. Табл.: 4. Бібл.: 8.

**Постановка проблеми.** Безпілотні літальні апарати (БпЛА) набули сьогодні широкого розповсюдження як у цивільній сфері, так і при вирішенні специфічних військових завдань. Застосування БпЛА вимагає наявності значної кількості допоміжних технічних засобів, тому зазвичай розглядаються не ізольовані БпЛА, а комплекси, куди БпЛА входять як структурний компонент. Особливого розповсюдження набули БпАК на базі малих та середніх БпЛА, враховуючи їхню дешевизну та простоту використання [1].

Ефективне використання БпЛА неможливе без системи керування (СК), яка є однією з критично важливих підсистем безпілотного авіаційного комплексу (БпАК). Саме СК БпАК забезпечує реалізацію плану місії використання БпЛА, починаючи від формування плану польоту та його корегування в реальному часі до вироблення управляючих впливів на органи керування обладнанням та механізмами БпЛА.

Крім того, практика застосування БпАК формує дві додаткові вимоги до їхньої СК, які, на перший погляд, є суперечливими:

1) сучасні СК БпАК повинні допускати їх інтеграцію в розподілені мережецентричні системи керування полем бою [2];

2) одночасно СК повинна забезпечити автономність функціонування БпАК на випадок прийняття оперативних рішень.

Здатність СК задовольняти вказаним вимогам визначається через сукупність показників якості, які мають кількісні характеристики, що підлягають вимірюванню. У свою чергу, якість СК може бути оцінена як загальноприйнятими показниками, так і додатковими, що властиві цій системі, виходячи з її цільового призначення. Якщо враховувати, що кожен з показників якості відповідає якійсь властивості СК, то можна зауважити, що у своїй сукупності всі властивості СК утворюють певну номенклатуру показників якості. На сьогодні немає науково обґрунтованого підходу до формування номенклатури показників якості СК БпАК.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [1] наведено перелік критеріїв оцінювання якості СК БпАК, але такий набір є обмеженим і може бути застосований тільки до групи БпАК зі схожим цільовим призначенням.

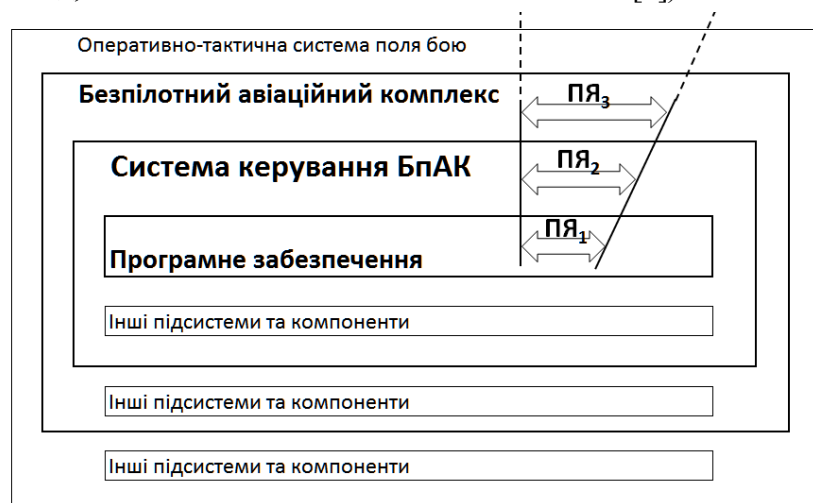
У роботі [2] викладено узагальнену класифікацію БпАК, для чого виділяються 16 критеріїв, серед яких, крім інших, фігурує й ознака «тип системи керування». Зокрема, автори перелічують 12 різновидів систем керування БпАК. Але ці різновиди, не пов'язані між собою, їх ознаки не формулюються у розрізі порівняння показників якості, а зводяться до перелічення технічних особливостей реалізації.

У роботі [3] автори наводять перелік показників якості БпАК загалом, не виділяючи СК. Водночас, оскільки СК є лише складовою частиною БпАК, то пропонувані в цій роботі показники не можуть бути повністю відповідати властивостям СК БпАК.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Мета статті полягає в аналізі відомих показників якості БпАК та створенні на їх основі номенклатури показників якості СК БпАК з урахуванням сучасних вимог щодо її функціонування.

### **Базова концепція формування номенклатури показників якості.**

На підставі позицій системного підходу, при формуванні номенклатури показників якості (ПЯ) слід спиратися на ієрархічну структуру СК БпАК (рис. 1), яка співпрацює зі своїм зовнішнім оточенням, наприклад, оперативно-тактичною системою поля бою, якщо йдеться про БпАК військового призначення. У свою чергу, типові БпАК базуються на використанні мікроелектронних пристроїв керування – мікроконтролерах, що здійснюють управління бортовою частиною БпЛА. Наприклад, це стосується різних версій автопілотів на базі мікроконтролерів Arduino та аналогічних їм [4]. Тому невід'ємною частиною СК БпАК слід вважати програмне забезпечення (ПЗ), у тому числі й ПЗ наземних станцій керування (наприклад, Mission Planner та APM Mission Planner 2 [5]).



*Рис. 1. Ієрархічна структура БпАК*

Поряд із наведеною ієрархією складових БпАК у цій ієрархічній структурі спостерігається ієрархія показників якості, що відносяться до певних підсистем. Наприклад, кожній з них може бути притаманним показник «надійність». Так, «надійність» ПЗ може оцінюватися характеристиками надійності комп'ютерного обладнання, такими як час напрацювання на відмову чи число відмов на одиницю часу, тоді як «надійність» СК буде розкриватися через інші характеристики, а саме: час прийняття рішення чи час передачі блока даних. Що ж стосується БпАК загалом, то для нього «надійність» може характеризуватися ймовірністю виконання місії або числом виявлених цілей.

У свою чергу, показники якості між собою можуть бути пов'язані відношенням класифікації, якому теж притаманна ієрархія. Та ж сама «надійність» ПЗ може бути роз-

крита через такі властивості, як цілісність, живучість, завершеність та працездатність [8], а «надійність» БпАК може представлятися через довговічність, збереженість та ремонтпридатність [7].

Якщо вивести за межі розгляду конкретні кількісні характеристики, то можна вважати, що номенклатура показників являє собою впорядковану систему, побудовану на принципі ієрархії.

Дамо формальне обґрунтування цьому висновку.

Позначимо  $ПЯ_j = \{ПЯ_{ji}\}$  – множину показників якості, а  $\Omega_j$  – відношення класифікації на  $j$ -му рівні ієрархічної структури системи,  $i = \overline{1, n_j}$ .

Тоді для структури, що наведена на рис. 1, будемо мати:

–  $N_1 = \langle ПЯ_1, \Omega_1 \rangle$  – алгебраїчну систему, що відповідає номенклатурі показників якості програмного забезпечення;

–  $N_2 = \langle ПЯ_2, \Omega_2 \rangle$ , – алгебраїчну систему, що відповідає номенклатурі показників якості СК БпАК;

–  $N_3 = \langle ПЯ_3, \Omega_3 \rangle$ , – алгебраїчну систему, що відповідає номенклатурі показників якості БпАК.

Враховуючи таку ієрархію, дані алгебраїчні системи знаходяться між собою у відношенні «ціле-частина», яке є транзитивним. Тому справедливими є такі твердження

$$\Gamma_1 : N_1 \rightarrow N_2, \Gamma_2 : N_2 \rightarrow N_3, \quad (1)$$

де  $\Gamma_1$  та  $\Gamma_2$  – відповідно відображення номенклатури системи нижчого рівня ієрархії на номенклатуру системи вищого рівня. Існування відображень  $\Gamma_1$  та  $\Gamma_2$  встановлює гомоморфність номенклатур  $N_1, N_2, N_3$ .

Оскільки номенклатури, що розглядаються, гомоморфні, то їх множини-носії  $ПЯ_1, ПЯ_2, ПЯ_3$  також гомоморфні. Отже, якщо відомі множини-носії  $ПЯ_1, ПЯ_3$  для номенклатур  $N_1, N_3$ , то існують правила відображення  $B_1, B_2$ , які описують гомоморфізм множин  $ПЯ_1, ПЯ_3$  на множину  $ПЯ_2$ :

$$B_1 : ПЯ_1 \rightarrow ПЯ_2, \quad B_2 : ПЯ_3 \rightarrow ПЯ_2 \quad (2)$$

Застосувавши правила гомоморфізму (2), отримаємо

$$\{ПЯ_{2i}\}_1 = \{ПЯ_{1i}\}B_1\{ПЯ_{2i}\}; \quad (3)$$

$$\{ПЯ_{2i}\}_2 = \{ПЯ_{3i}\}B_2\{ПЯ_{2i}\},$$

де  $\{ПЯ_{2i}\}_1$  – множина показників якості СК БпАК, отримана з множини-носія  $ПЯ_1$ ;

$\{ПЯ_{2i}\}_2$  – множина показників якості СК БпАК, отримана з множини-носія  $ПЯ_3$ .

Для реалізації відношення класифікації, визначимо групи еквівалентності показників якості щодо СК БпАК та згорнемо їх шляхом об'єднання отриманих у (3) множин.

$$ПЯ_2' = \{ПЯ_{2i}\}_1 \cup \{ПЯ_{2i}\}_2. \quad (4)$$

Отримана в (4) множина  $ПЯ_2'$  є базовою для множини показників якості СК БпАК, але може включати надлишкові дані. Для виключення надмірного дублювання даних необхідно провести оптимізацію  $ПЯ_2'$ , застосувавши закон ідемпотентності. У результаті отримаємо множину-носій  $ПЯ_2$  для номенклатури показників якості системи керування БпАК.

Описана концепція може бути представлена у вигляді інформаційної технології формування номенклатури показників якості СК БпАК, схема якої наведена на рис. 2.

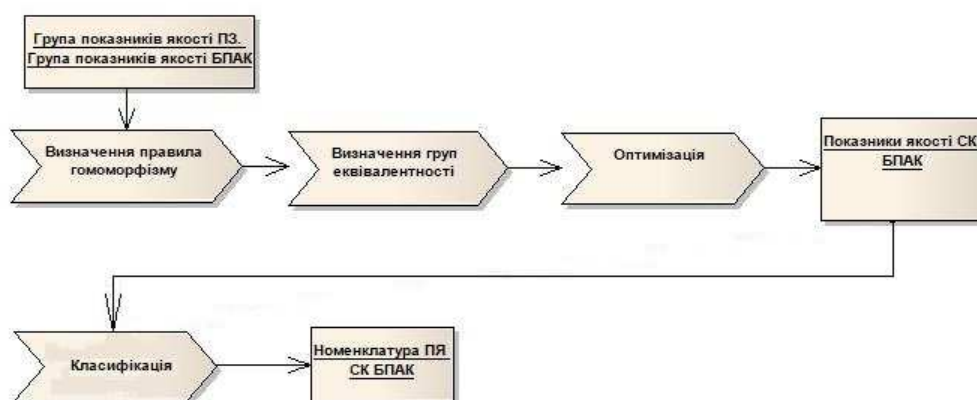


Рис. 2. Схема інформаційної технології формування номенклатури показників якості СК БпАК

### Групи показників якості СК БпАК.

Для формування вихідних груп показників якості розглянемо структуру БпАК (рис. 3), складовою якої є СК. У цій структурі наведені ті компоненти, що забезпечують реалізацію функцій керування, а саме: обробку, трансформацію і передачу даних, та інформаційно підтримують прийняття рішень щодо поведінки БпЛА, її зміни залежно від умов експлуатації.



Рис. 3. Структура БпАК

Для визначення відношень та формування груп показників якості СК БпАК застосовано компонентний підхід, викладений у ДСТУ ISO 9000:2007 [7], за якого якість характеризується через множину окремих показників якості.

Виходячи із загальних вимог Total Quality Management [6], формулювання показників якості будемо проводити на підставі чотирьох груп відповідностей, представлених у табл. 1.

Таблиця 1

Групи відповідностей показників якості

№ п/п	Група відповідностей	Зміст показників якості
1.	Якість як відповідність стандарту	Якість визначається за відповідністю раніше визначеним стандартам, які описують параметри процесу
2.	Якість як відповідність застосуванню	Якість визначається виходячи з вимог споживача на використання продукції
3.	Якість як відповідність вартості	Якість є наслідком продуктивності організації, зниження витрат і реальної економії при випуску продукції
4.	Якість як відповідність потребам	Якість визначається на підставі того, чи змогла організація виявити потреби користувача та запропонувати продукцію, яка відповідає цим потребам

Наведені відповідності дають можливість структурувати перелік показників якості будь-якого об'єкта чи процесу на самому верхньому рівні, тобто встановити відносини між показниками та властивостями, шляхом їх класифікації.

#### Показники якості суміжних систем.

Згідно з ієрархічною структурою БпАК (рис. 1) суміжної системою нижнього рівня є програмне забезпечення. Для формування множини ПЯ<sub>1</sub> використовуємо ДСТУ ІСО 9126-1:2013 [8], який надає перелік характеристик внутрішньої та зовнішньої якості ПЗ. Враховуючи цей перелік, згідно з (3), отримуємо адаптовану до СК БпАК множину показників якості  $\{ПЯ_{2i}\}_1$  (табл. 2).

Таблиця 2

Група показників якості СК БпАК  $\{ПЯ_{2i}\}_1$ 

Показник якості СК БпАК	Зміст показника
Функціональність	Здатність СК надавати функції, які відповідають заявленим, у разі використання відповідно до заданих умов
Функціональна придатність	Здатність СК надавати відповідний набір функцій для специфікованих завдань і цільових показників користувача
Точність	Здатність СК забезпечувати правильні результати або виконувати дії з потрібним рівнем точності
Взаємодійність	Здатність СК взаємодіяти з однією чи більше специфікованими системами
Захищеність	Здатність СК захищати інформацію і дані
Надійність	Здатність СК підтримувати встановлений рівень експлуатаційних характеристик під час використання за заданих умов
Відмовотривкість	Здатність СК підтримувати встановлений рівень експлуатаційних властивостей після відмови одного або декількох складових компонентів
Відновність	Здатність СК повторно встановити специфікований рівень експлуатаційних характеристик і відновити дані, які безпосередньо пошкоджено в разі відмови.
Відповідність нормам надійності	Здатність СК відповідати стандартам, угодам або правилам, які стосуються надійності
Зручність використання	Здатність СК бути зрозумілою, такою що керується і привабливою для користувача під час використання за заданих умов
Зрозумілість	Здатність СК надати можливість користувачу зрозуміти, чи є СК прийнятною, і як її можна використовувати для конкретних завдань і умов використання
Опановність	Здатність СК надати можливість користувачу освоїти його застосування
Керованість	Здатність СК надати можливість користувачу оперувати нею і контролювати її
Привабливість	Здатність СК бути привабливим для користувача
Відповідність нормам зручності використання	Здатність СК відповідати нормам стандартів, угод, настанов щодо стилю або правил для зручності використання
Реактивність	Здатність СК забезпечити належний час відгуку та рівні пропускну спроможності під час виконання його функції згідно із заявленими умовами
Супроводженість	Здатність СК БпАК бути зміненою. Модифікації можуть охоплювати коригування, вдосконалювання або пристосовування СК БпАК до змін у середовищі, вимогах та функціональних специфікаціях
Аналізованість	Здатність СК підлягати діагностуванню стосовно вад або причин відмов у ній, або щодо змінюваних частин, які має бути ідентифіковано."
Змінність	Здатність СК надати можливість реалізації специфікованих модифікацій
Стабільність	Здатність СК уникати непередбачених наслідків модифікацій СК.
Тестовність	Здатність СК надати можливість підтвердження її працездатності після внесення обумовлених змін за визначеним рівнем витрачених ресурсів
Відповідність нормам супроводженості	Здатність СК відповідати нормам стандартів або угод, які стосуються супроводжуваності

Перелік показників якості системи верхнього рівня ПЯ<sub>3</sub> наведено в [3]. Згідно з (3), з ПЯ<sub>3</sub> отримуємо адаптовану до СК БпАК множину показників якості  $\{ПЯ_{2i}\}_1$  (табл. 3).

Таблиця 3

Група ПЯ СК БпАК  $\{ПЯ_{2i}\}_1$ 

Показник якості БпАК	Зміст показника
Стійкість	Здатність до виконання функцій в умовах впливу несприятливих зовнішніх факторів
Готовність	Здатність у заданий термін бути застосованим за призначенням
Живучість	Здатність виконувати функції (поставлені завдання) після впливу руйнуючих зовнішніх факторів
Надійність	Здатність зберігати в часі значення всіх технічних параметрів у заданих межах
Безвідмовність	Здатність постійно зберігати працездатний стан протягом певного часу або наробітку
Довговічність	Здатність зберігати працездатний стан до настання встановленого граничного стану при встановленій системі технічного обслуговування та ремонту
Ремонтопридатність	Пристосованість до попередження та виявлення причин виникнення відмов і ушкоджень, а також до підтримки та відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів
Збереженість	Здатність зберігати значення показників безвідмовності, довговічності та ремонтнопридатності протягом, і після зберігання та (або) транспортування
Безпека використання (експлуатації)	Відсутність (зведення до мінімуму) ризику завдання збитків здоров'ю людей, пов'язаним та іншим об'єктам, а також природному середовищу в усіх режимах експлуатації
Експлуатаційна технологічність	Пристосованість до технічного обслуговування в заданих умовах експлуатації
Сумісність із пов'язаними об'єктами	Здатність взаємодіяти із зв'язаними об'єктами у встановлених режимах експлуатації зі збереженням заданих характеристик без введення додаткових сполучних пристроїв
Ергономічність	Ступінь пристосованості до взаємодії з людиною (оператором, технічним обслуговуючим персоналом і т. ін.)

Маючи групи показників якості суміжних систем  $\{ПЯ_{2i}\}_1$  і  $\{ПЯ_{2i}\}_2$ , сформуємо номенклатуру  $N_2$  для СК БпАК за технологією, наведеною на рис. 2. У результаті з урахуванням класифікації отримаємо загальну номенклатуру показників якості СК БпАК (табл. 4).

Таблиця 4

## Номенклатура показників якості СК БпАК

№	Показник якості		№	Показник якості	
1	НАДІЙНІСТЬ		3	СУПРОВОДЖЕНІСТЬ	
	1.1	Відмовотривкість		3.1	Аналізовність
	1.2	Стійкість		3.2	Змінність
	1.3	Готовність		3.3	Стабільність
	1.4	Довговічність		3.4	Тестовність
	1.5	Ремонтопридатність		3.5	Відповідність нормам супроводженості
	1.6	Збереженість			
	1.7	Відновність			
	1.8	Відповідність нормам надійності			
2	ФУНКЦІОНАЛЬНІСТЬ		4	ЗРУЧНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ	
	2.1	Функціональна придатність		4.1	Зрозумілість
	2.2	Точність		4.2	Опановність
	2.3	Взаємодійність		4.3	Керованість
		2.3.1 Корпоративність		4.4	Привабливість
		2.3.2 Узгодженість		4.5	Безпека використання
	2.4	Захищеність		4.6	Експлуатаційна технологічність
	2.5	Автономність		4.7	Відповідність нормам зручності
		2.5.1 Самостійність			
		2.5.2 Дистанційованість			
		2.5.3 Автоорієнтованість			
	2.6	Швидкодія			
		2.6.1 Реактивність			
		2.6.2 Оперативність			

Зазначимо, що доповнення номенклатури показників якості СК БпАК додатковими показниками, які впливають з розширення переліку задач БпАК та умов його використання, стосуються таких показників, як «дистанційованість», «автоорієнтовність», «самостійність». Ці показники узагальнюються в групу «автономність». Крім того, з тих же причин, до номенклатури показників якості СК БпАК додаються показники «корпоративність» та «узгодженість», які відносяться до групи «взаємодійність».

**Висновки відповідно до статті.** Сформульована базова концепція формування показників якості системи керування БпАК та розроблена інформаційна технологія, що базується на гомоморфності номенклатур суміжних до СК БпАК систем, дозволяє сформувати номенклатуру показників якості системи керування, шляхом об'єднання груп показників якості, сформованих на базі множин показників якості для БпАК та ПЗ. Відношення класифікації пробить цю номенклатуру ієрархічно упорядкованою та забезпечує відповідність діючим стандартам. У перспективі отримана номенклатура показників якості СК БпАК може бути використана у процесі оцінювання ефективності БпАК на етапах проектування та випробувань.

#### Список використаних джерел

1. Herlik E. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for commercial applications global market & technologies outlook 2011–2016. Technical report, Market Intel Group LLC, 2010.
2. Cebrowski A. K., Garstka J. J. “Network Centric Warfare: Its Origin and Future.” Proceedings of the Naval Institute, 124:1 (January 1998): p. 28–35.
3. Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UVS) : монографія / В. Г. Башинский, В. Б. Бзот, Е. И. Жилин, А. Н. Катунин и др. – Запорожье : АО «МОТОР СИЧ», 2014. – 261 с.
4. Moguel, E.; Conejero, J.M.; Sánchez-Figueroa, F.; Hernández, J.; Preciado, J.C.; Sánchez-Figueroa, F.; Rodríguez-Echeverría, R. Towards the Use of Unmanned Aerial Systems for Providing Sustainable Services in Smart Cities. *Sensors* 2018, 18, 64.
5. APM Mission Planner 2 Home [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ardupilot.org/planner2/index.html#home>.
6. Латфуллин Г. А. Теория менеджмента : учебник для вузов / Г. А. Латфуллин, А. С. Никитин, С. С. Серебренников. – 2-е изд. – СПб. : Питер, 2014. – 464 с. : ил.
7. ДСТУ ISO 9000:2007. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT).
8. ДСТУ ISO 9126-1:2013 Програмна інженерія – Якість продукту – Частина 1. Модель якості.

#### References

1. Herlik, E. (2010). *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) for commercial applications global market & technologies outlook 2011–2016. Technical report, Market Intel Group LLC* [in English].
2. Cebrowski, A. K. & Garstka, J. J. (1998). “Network Centric Warfare: Its Origin and Future.” *Proceedings of the Naval Institute*, 124 (1), 28–35 [in English].
3. Bashinskiy, V. G., Bzot, V. B., Zhilin, E. I., Katunin, A. N., Leontyev, A. B. & Rybyak, A. S., Ukrainets, E. A., Khrapchinskiy, V. O. & Khudov, G. V (2014). *Malogabaritnyye bespilotnyye aviatsionnyye komplekсы (Mini UVS) [Small unmanned aerial systems]*. Zaporozhye: Izdatelstvo AO “MOTOR SICH” [in Russian].
4. Moguel, E., Conejero, J. M., Sánchez-Figueroa, F., Hernández, J., Preciado, J. C., Sánchez-Figueroa, F. & Rodríguez-Echeverría, R. (2018). *Towards the Use of Unmanned Aerial Systems for Providing Sustainable Services in Smart Cities. Sensors*, 18, 64 [in English].
5. APM Mission Planner 2 Home. *ardupilot.org*. Retrieved from <http://ardupilot.org/planner2/index.html#home>.
6. Latfullin, G.A., Nikitin, A. S. & Serebrennikov, S. S (2014). *Teoriya menedzhment [Theory of management]*. (2nd ed.). Saint Petersburg: Piter [in Russian].
7. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv [Quality management systems. Basic Terms and Glossary]. (2007). *DSTU ISO 9000 – 2005* Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
8. Prohramna inzheneriia. Yakist produktu. Chastyna 1. Model yakosti [Software Engineering. Product Quality. Part 1. Quality Model]. (2013). *DSTU ISO 9126-1:2013* [in Ukrainian].

*Andrii Akymenko, Olha Bashynska, Volodymyr Kazymyr,  
Yuri Kamak, Sergii Nesterenko*

## THE JUSTIFICATION OF THE QUALITY INDICATORS NOMENCLATURE FOR THE CONTROL SYSTEMS OF THE UNMANNED AVIATION SYSTEMS

**Urgency of the research.** Modern trends in the development of unmanned aviation systems (UAS), the increasing their complexity, creation cost and difficulties in their exploitation require bigger attention to the quality of the operation of the one's complex control systems. The evaluation the control system quality is one of the important issues facing the unmanned systems' developers. Now there is no general approach to the establishment of a list of quality control indicators for both the control systems in general and for the UAV in particular. Therefore, there is a need to develop a method for creating a generalized nomenclature of quality indicators of the UAS control system for quantitative assessment the operation quality of the control system.

**Target setting.** The ability of the UAV control system to meet the operational requirements is determined through a set of quality indicators that have quantifiable characteristics to be measured. But now there is no scientifically grounded approach to the formation nomenclature of quality indicators of the UAS control system.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent open publications including national quality assurance standards were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Development of scientifically grounded technology for the formation the nomenclature of quality indicators of the UAS control system.

**The research objective.** The main article target is to create the nomenclature of the quality indicators of the UAS control system on the basis of known quality indicators, taking into account modern requirements for its functioning.

**The statement of basic materials.** For the formation the nomenclature of quality indicators for UAS control system the new method is proposed. It uses groups of BPaK quality indicators and software of the UAS control system. This method is based on the nomenclature homomorphism for the systems adjacent the UAS control system.

**Conclusions.** The concept of formation the quality indicators of the UAS control system is proposed. The relevant information technology is also developed. It allows to form a nomenclature of quality indicators of the UAS control system.

**Keywords:** unmanned aviation vehicles; unmanned aviation systems; UAS control system; indicative quality of control system; quality.

Fig. : 3. Table: 4. References: 8.

УДК 004.9

*Андрей Акименко, Ольга Башинская, Владимир Казимир,  
Юрий Камак, Сергей Нестеренко*

## ОБОСНОВАНИЕ НОМЕНКЛАТУРЫ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

**Актуальность темы исследования.** Современные тенденции развития беспилотных авиационных комплексов (БпАК), рост их сложности, стоимости создания и эксплуатации требуют повышенного внимания к качеству функционирования систем управления комплексом. Оценка качества системы управления – одна из важных проблем, которые возникают перед разработчиками беспилотных комплексов, поскольку не существует общего подхода к формированию перечня показателей качества как для систем управления вообще, так и для БпАК, в частности. Поэтому существует потребность в разработке метода формирования обобщенной номенклатуры показателей качества системы управления БпАК для получения количественной оценки качества функционирования системы управления.

**Постановка проблемы.** Способность системы управления БпАК удовлетворять требованиям эксплуатации определяется через совокупность показателей качества, которые имеют количественные характеристики, которые подлежат измерению. Но, на сегодняшний день, не существует научно обоснованного подхода к формированию номенклатуры показателей качества системы управления БпАК.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая национальные стандарты обеспечения качества.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Разработка научно обоснованной технологии формирования номенклатуры показателей качества системы управления БпАК.

**Постановка задачи.** Создание номенклатуры показателей качества системы управления БпАК на основе известных показателей качества БпАК, с учетом современных требований относительно его функционирования.

**Изложение основного материала.** Для формирования номенклатуры показателей качества системы управления БпАК предлагается метод, который использует группы показателей качества БпАК и программного обеспечения системы управления БпАК. Метод базируется на гомоморфности номенклатур систем, сопредельных системе управления БпАК.

**Выводы по статье.** Предложенная концепция формирования показателей качества системы управления беспилотных авиационных комплексов и разработана информационная технология, которая позволяет сформировать номенклатуру показателей качества системы управления БпАК.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты; беспилотные авиационные комплексы; система управления БпАК; показатель качества системы управления; качество.

Рис.: 3. Табл.: 4. Библ.: 8.



**Акименко Андрій Миколайович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, професор кафедри інформаційних систем в економіці, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Акименко Андрей Николаевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор кафедры информационных систем в экономике, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Akymenko Andrii**– PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** anakim2@gmail.com

**Башинська Ольга Олександрівна** – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035 Україна).

**Башинская Ольга Александровна** – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Bashynska Olha** – graduate student of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Казимир Владимир Викторович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

**ResearcherID:** Q-2925-2016

**Scopus Author ID:** 56644727300

**Камак Юрій Олександрович** – начальник відділу Державного науково-випробувального центру Збройних Сил України (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14033, Україна).

**Камак Юрий Александрович** – начальник отдела Государственного научно-испытательного центра Вооруженных Сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14033, Украина).

**Kamak Yuri** – Head of Division in the State Scientific and Testing Centre of the Armed Forces of Ukraine (1 Striletska Str., 14033 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** dnvc@meta.ua

**Нестеренко Сергій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Нестеренко Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Nesterenko Sergii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

*Volodymyr Kazymyr, Ruslan Zarovsky, Andrii Radchenko*

## RECOGNITION OF LICENSE PLATES SYMBOLS OF DIFFERENT FORMATS

**Urgency of the research.** Typically the recognition process includes the following steps: license plate detection, license plate normalization, segmentation of the license plate image into separate symbols and symbols recognition. The effectiveness of license plate recognition depends on each of the indicated recognition stages, but for recognition of the license plates of different formats the key stages are segmentation and recognition stages. Therefore the development of the recognition method of the license plates symbols of different formats is an actual task.

**Target setting.** Different formats of car numbers have different fonts and different arrangement of characters, which complicates the process of recognizing car numbers.

**Actual scientific researches and issues analysis.** General trends that have been identified by the analysis of publications indicate that for character recognition of car numbers used convolutional neural network, fully connected neural networks, correlation analysis, binarization images and histograms of brightness.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** All analyzed methods are well suited for recognition of the symbols of well-visible license plates. This makes difficult to apply such methods in real conditions as the license plates can be dirty or poorly visible.

**The research objective.** The purpose of the article is to describe the method of recognizing car numbers of different formats, which has a high percentage of correct recognition and can be used to recognize car numbers on the video stream from cameras located above the tracks.

**The statement of basic materials.** For recognition of the symbols of license plates it is suggested to use the brightness histogram of the binarized image, for symbols recognition - a specially created neural network with the ability of recognition the alternative parts of the original image of the license plate and for removing the incorrectly recognized symbols - the list of license plates formats.

**Conclusions.** The proposed method successfully copes with the task of license plate recognition with confidence 95-99 %. But as the test results show the method has several drawbacks. First, this method does not easily recognize the "trash" in the image and often confuses it with the symbol '1'. Second, on the dirty license plates or on false detection this method repeatedly uses alternative recognition which leads to a significant load on the processor.

**Keywords:** recognition; convolutional neural network; license plate.

*Fig.: 6. Bibl.: 21.*

**Introduction.** Modern systems of license plate recognition are mainly oriented to the recognition of plates of a specific country[1], although there are products that are able to recognize the license plates of many countries simultaneously[2-6]. However, both the first and second systems are closed and have a high cost, and there are no open methods that can recognize license plates with great certainty. Therefore, recognition of license plates is an actual task at the moment.

Typically, the recognition process includes the following steps: license plate detection, license plate normalization, segmentation of the license plate image into separate symbols and symbols recognition. Detection of the license plate can be made with the help of the Haar detector[7] and normalization by different methods[8-10]. The effectiveness of license plate recognition depends on each of the indicated recognition stages, but for recognition of the license plates of different formats the key stages are segmentation and recognition stages, because different formats of license plates have different fonts and different arrangement of symbols on the plate which makes difficult recognition of license plate. Therefore, the development of the recognition method of the license plate symbols of different formats is an actual task.

**Analysis of recent research and publications.** At the moment there are many articles describing the recognition of license plates of one or many formats.

In [11] detection of a license plate and its recognition is performed using convolutional neural networks without a separate segmentation step. Also, possible simplifications of the created neural networks for use on mobile platforms are indicated. However, the processing time of the recognition algorithm still remains too large for use it on desktop or mobile processors.

In [12] the method of detection and recognition of license plates of Egypt is described. Detection is carried out by means of selection of corners, expansion operation, special filling, erosion, blurring and filtration. Segmentation is performed by image binarization, erosion operation and horizontal projection of brightness. Recognition is performed using correlation analysis. During the research it was found that such method of detecting a license plates

works well under the some special conditions and is completely inappropriate for others. Segmentation of this method obviously will not work in case of dirty plates, and as a result the license plate can not be correctly recognized.

In [13] the method of recognition of license plates by means of artificial neural networks is described. Detection is carried out by means of selection of contours. Segmentation is performed using vertical projection of luminosity and recognition by using an artificial neural network on a binary image with preliminary refinement of binarized symbol images. This method works well for high-quality photos, but it is not suitable for recognizing license plates from a real video stream in conditions of poor visibility or in case of dirty plates.

In [14] the detection of license plates is performed using contour highlighting and SVM [15]. Segmentation is performed by finding of contours and searching of closed regions of these contours. Recognition is performed by convolutional neural network. This method of recognition also can not work on dirty license plates, since a “glued” pair of symbols can not be correctly recognized by a neural network. As for the neural network itself, in comparison with the network used in this method, it has too complicated construction, a lot of parameters and, consequently, a low speed.

All the above mentioned methods were tested on photos of cars where the license plate has a much higher resolution and has no contamination, as a result of which these recognition methods can not have a high percentage of correctly recognized license plates on a real video stream.

**The goal of an article** Description of the recognition method of the license plates symbols of different formats, which has high recognition rate and can be used in practice for recognition of the license plates from video streams received from cameras located above the tracks.

**Segmentation of the license plate images of different formats.** This stage can be divided into several sub-stages:

- binarization of the license plate image;
- specification of the boundaries of license plate symbols;
- determination of the position of individual symbols.

*Binarization of the license plate image.* Binarization[16] of the image greatly simplifies further processing, since after binarization the image consists only of “white” and “black” pixels. There are various methods of binarization of images[17-19].

Researches show that in the case of the same license plate formats the best variant of binarization is binarization over the area of symbols[18]. But such binarization is not able to correctly determine the binarization threshold since the symbols occupies from 24 % (Figure 1 (a)) to 44 % (Figure 1 (b)) of license plate of different formats.

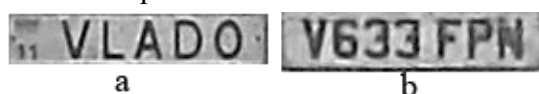


Fig. 1. License plates whose symbols occupy different areas

A “hard” binarization, which assumes setting the binarization threshold as an unchanged number from 0 to 255 (with the same brightness range) gives a result that does not allow us to determine the boundaries of symbols on a set of license plates, since the results of binarization in this way depend on the illumination of the license plate, which in real conditions can not be the same. Methods of adaptive binarization[19] are intended for binarization of images in which the brightness is distributed unevenly. In real conditions the recognition of license plates rarely occurs in conditions of uneven illumination. In addition, adaptive binarization methods create noises that have influence on next stage of recognition.

Therefore, it was decided to use Otsu's method[17] of binarization, which calculates the binarization threshold depending on the illumination of the image. But, since the normalization method has limited accuracy, it is proposed to use in the method the additional inner rectangle with the following parameters to determine the binarization threshold:

$$\begin{aligned}
 xS &= 0.1 * wP, \\
 yS &= 0.2 * hP, \\
 wd &= wP * 0.8, \\
 hg &= hP * 0.8,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

where  $xS$ ,  $yS$  – initial position of the rectangle along the X-axis and along the Y-axis respectively;  $wP$ ,  $hP$  – width and height of the normalized image respectively;  $wd$ ,  $hg$  – width and height of the inner rectangle respectively.

The results of binarization by this method are shown in Fig. 2.



Fig. 2. Source and binarized images of license plates

*Specification of the boundaries of license plate symbols.* As a rule the methods of normalization defines exact boundaries of plate but not boundaries of symbols that is necessary for further recognition stages.

Determination of the upper bound of symbols it is proposed to perform into two steps. The first step is to sort out one by one horizontal line of image from 0 to height/3 value on Y-axis, where “height” is a height of the normalized image. In each of these lines it is necessary to find the longest continuous stretch of white pixels. The line with the maximum value of the coordinate on Y-axis, which would contain a portion of white pixels with width exceeding the 0.4 of the original image width, should be stored for the second stage. The second step is to sort out the lines from value that was obtained in the first step to a value of height/3 on Y-axis, where “height” is a height of the normalized image, and look for solid black line. The first line that would have white pixels is considered as symbol boundary. Definition of the lower bound of symbols is offered to be carried out on a similar algorithm.

For determination of the left boundary of symbols it is offered to look over vertical lines from value 0 to width/4 on X-axis, where “width” is a width of the normalized image. For each line it is necessary to check the count of white pixels. The first line which will meet a condition: the count of white pixels more than 0.98 heights of the image or less than 0.02 heights of the image – will be considered as left border of symbols. Definition of the right border is offered to be carried out on a similar algorithm.

*For determination of the position of individual symbols* it is needed to determine:

1) the count of white pixels for each column ( $cw(i)$ ) of the binarized and normalized license plate image. A graphical representation of the result of this operation is shown in Figure 3: the count of white pixels per column corresponds to the length of the vertical white line in each column, which starts from the top of image;

2) the maximum ( $mxCount$ ) and minimum ( $mnCount$ ) count of white pixels per column on a binarized image;

3) the average value ( $avg$ ) of the white pixels count per column on a binarized image (one value for all image);

4) the minimum ( $mn$ ) and maximum ( $mx$ ) values that will be used to find the left and right border of symbol according to the following formulas:

$$\begin{aligned}
 mn &= round(avg * 0.3) + mnCount, \\
 mx &= round(avg * 0.7) + mxCount
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

where  $round(x)$  – rounding operation.



Fig. 3. Binary image of the license plate and the count of white pixels (on Y-axis) by the columns

Then borders of the symbol are determined in such way:

1) the left border ( $i$  position on X-axis) of the symbol is achieved when the following three conditions are true:

$$cw(i-1) \leq mn, cw(i) > mn, cw(i+k) > mx; \quad (3)$$

2) the right border ( $j$  position on X-axis) of the symbol is achieved when the left border is found and following three conditions are true:

$$cw(j-1) > mx, cw(j) \leq mx, cw(j+k) \leq mn, \quad (4)$$

given that  $0 < i < mx$ ,  $0 < j < mx$ ,  $0 < k < i+k \leq mx$ ,  $0 < k < j+k \leq mx$ , for each symbol  $j > i$ .

For all founded symbols  $S(i)$  the following condition is verified:

- if the width  $S(i) > MAX\_WIDTH$ , then a new binarization of the part of the image where the symbol  $S(i)$  is located with a threshold of 7 units smaller than the previous one is performed and a first stage begin again.

- if the width  $S(i) \leq MAX\_WIDTH$ , then the result is stored.

Here,  $MAX\_WIDTH$  – maximum possible character width that was determined experimentally (30 pixels).

**Character recognition.** To recognize individual symbols a convolutional neural network, which is described in [20], was created and trained.

The algorithm for character recognition using the specified neural network consists of the following steps:

- 1) preparing the image for recognition;
- 2) application of a neural network to separate parts of the image;
- 3) analysis of the results;
- 4) select the most likely format of the recognized license plate.

Preparing the image for recognition involves the histogram equalization of the gray image of the license plate in order to classify the images by neural network without taking into account the contrast and brightness parameters of the image.

The stage of neural network application to individual parts of the image assumes the following sub-steps.

1) the symbol is cut out with the founded coordinates along the X-axis from the binary image. If the width of the symbol is less than 15 pixels, then a 15-pixel section is cut from the image (pixels are added to the right and left). This is done for correctly recognition of the I symbols, which is a simple vertical line. If cut only 3-5 pixels, which occupies this symbol, then the neural network often confuses garbage with this symbol;

2) normalization of the symbols image occurs by cutting off white vertical lines to the left and right and white horizontal lines from the top and bottom on the binarized image. After this the obtained coordinates are used to cut out the symbol from the original equalized gray image of license plate;

3) a gray symbol image is transmitted to the neural network. Since the neural network receives images of 24x24 pixels on the input the image is zoomed without distortion of proportion and inserted in the center of the image of 24x24 pixels, which before it is filled with brightness of 200 units (the neural network on such images was trained). The result of recognition is stored for further analysis;

4) if the neural network recognize not the symbol I with a confidence of less than 0.3 (for reliability from -1 to +1), then the following test is performed. If the height of the symbol is less than 0.7 of the height of the original image of the normalized license plate, an attempt is made to recognize the symbol without taking into account the sub-step of normalization (second sub-step). If on the contrary – an attempt is made to find white horizontal lines in symbol on a binarized cut image in order to eliminate possible trash for those symbols whose size is less than the height of the license plate (for example, such symbols exist on Russian license plates). In both cases, the result is selected with greater reliability and is stored for further analysis.

The analysis stage is based on the Heuristic over Segmentation method [21]. In general, this method is applicable to the case of symbols recognition when symbols boundaries can not be determined reliably as for handwriting character recognition. Regarding the license plate recognition, the above segmentation method sometimes splits the symbols H and M into two parts when they come into contact with another symbol, which can not be separated from them by the projection of brightness. An example of such pair symbols is shown in Figure 4.



*Fig. 4. License plate on which it is impossible to separate pair symbols*

The essence of analyze stage is to compare the recognition reliability of the part of image with a certain predetermined value taking into account the symbol that has been recognized. Then, if it is necessary, an alternative recognition to another part of image that spans more than one segmented symbol is applied. Also, an alternative recognition to the some equals parts of image that consist of more than one segmented symbol can be used. In result a graph of alternative recognitions is constructed and the most reliable recognition path is selected from it.

In this method it is proposed to do the following. If the reliability of the recognized symbol is less than a certain value (in our case 0.3) or if the recognized symbol is 'I' (the neural network learned to recognize the halves of the letters H and the left half of M as the symbol 'I'), then it is necessary to combine the current symbol with the next one. Next, it is necessary to check the width of the cut out section. If it is larger than some value (in our case 19 pixels), then it is necessary to divide the section into two identical parts and each of the received sections is sent to the neural network. If both results have high reliability ( $> 0.5$ ), then it is considered that the symbols have been recognized correctly and the analysis process is applied to the next character. Otherwise, the obtained results are stored for further choice between alternatives. Also in such case other alternatives are recognized: if the width of the cut-out section is less than the maximum symbol width (30 pixels), then the character is sent to the neural network recognition (naturally, it zooms in and is inserted into the 24x24 pixel image). If the obtained results are highly reliable, then it is considered that the character was recognized correctly and an algorithm goes to the next unused section. Otherwise, an attempt is made to combine the current section with the third and so on, until the section width exceeds the critical value (50 pixels). When merging third and other sections the recognition steps of dividing into two parts and recognizing the whole symbol with the storing or choosing recognition results (depends on reliability) are repeated. In the end, if a symbol with high reliability has not been received, the symbol with the highest reliability or a pair of symbols, each of which has a reliability greater than 0, and one of which has the greatest reliability, is selected.

An example of recognition with results and reliability as well as alternative recognition is shown in Figure 5.

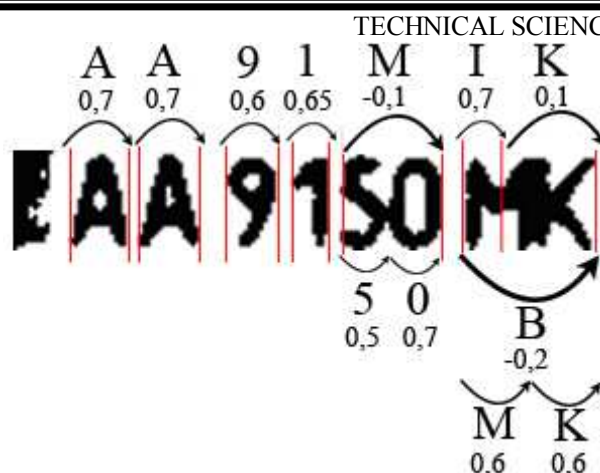


Fig. 5. An example of license plate recognition with alternative variants

After all the symbols, the reliability of which is less than 0, are removed.

The step of choosing the most suitable format includes comparison the recognized sequence of characters with predefined patterns of license plates. For example, the most common Ukrainian license plates formats has two such patterns: UC-DDDD-CC and DDD-DD-CC, where U – the symbols A-C, I; D – digits; C – symbols A-C, E, H, M, I, K, O, P, T, X and the digit 0 (the analogue of the symbol O). For Lithuanian license plates has the following pattern: LLL-DDD, where L is the characters A-Z and the digit 0. The choice of this or that license plate pattern is based on the probability of the characters and the distance between them: it is necessary to select the pattern in which characters that are not suitable for this format have the recognition reliability is no more than 0.5 (the exception of the symbol 'I') and the distance between blocks of individual characters is greater than between the neighboring characters in block (for example, distance between block LLL and DDD in Lithuanian pattern is greater than between symbols in blocks). In case when several patterns fall into the recognized characters at once it is necessary to choose one in which any of the not suitable for pattern symbols has less reliability than any symbol that can be eliminated in another format. For example, let the identified symbols 'LLC12345PO' with confidence 0.3, 0.3, 0.3, 0.3, 0.4, 0.4, 0.4, 0.4, 0.7, 0.3. In this case, some symbols were not recognized correctly, and in fact the indicated sequence of characters falls under both the format of Ukrainian and Lithuanian license plates. If the Lithuanian pattern is chosen, it turns out that the symbol 'P', having reliability above 0.5, is discarded. If the Ukrainian pattern is selected the 'LLC' symbols having a reliability of less than 0.3 are discarded. Since the symbol 'P' has more reliability then the Ukrainian pattern in this case is much more reliable than the Lithuanian one, and this if do not take into account the distance between the symbols, which may not correspond to the Lithuanian pattern. In the case when at least one symbol (with the exception of 'I') which must be eliminated by pattern has a reliability greater than 0.5, then it must be assumed that the license plate does not fall into any format.

The results of correctly and incorrectly recognized license plates using this method are shown in Figure 6. The total percentage of correctly recognized license plates strongly depends on the degree of license plate visibility and weather conditions. This method was tested with a real video stream camera, which is located above the highway, and which has good license plate visibility (Figure 6). The width of the license plates was from 120 to 150 pixels. The correct recognition percentage was 95-99 %.

With motion detection and processing of every 5 frames this method could process 10 recognition channels on an Intel I5-7500 processor.



Fig. 6. Correctly (a) and incorrectly (b) recognized license plates

**Conclusions.** This method successfully copes with the task of license plate recognition with confidence 95-99 %. But as the test results show the method has several drawbacks. First, this method does not easily recognize the “garbage” in the image and often confuses it with the symbol ‘I’. Second, on the dirty license plates or on false detection this method repeatedly uses alternative recognition which leads to a significant load on the processor.

Further work on license plates symbols recognition can be directed towards improving the quality and speed of recognition. In particular it is planned to test the method of symbols recognition in which the convolutional layers of the neural network process the whole normalized license plate image and the full connected layer must apply to specific output areas of the last convolutional layer. This should improve the quality of recognition and for poorly visible license plate increase the recognition speed by reducing the time for alternative symbols recognition.

### References

1. Automatic License Plate Recognition. (n.d.). *www.ispyconnect.com*. Retrieved from <https://www.ispyconnect.com/userguide-alpr.aspx> [in English].
2. Sistema raspoznavaniia avtomobilyh numerov «NomerOK» [The car’s plate recognition system «NomerOK»]. (n.d.). *avtonomerok.su*. Retrieved from <http://avtonomerok.su/> [in Russian].
3. IANPR SDK. (n.d.). *intbusoft.com*. Retrieved from <http://intbusoft.com/rus/products/iANPR/> [in English].
4. Avto-Inspektor - sistema raspoznavaniia avtomobilnyh numerov [Avto-Inspektor – license plate recognition system]. (n.d.). *www.kerdos.com.ua*. Retrieved from <http://www.kerdos.com.ua/avto-inspektor-sistema-raspoznavaniya-avtomobilnyh-numerov> [in Russian].
5. Raspoznavanie avtomobilnyh numerov [License plate recognition]. (n.d.). *macroscop.com*. Retrieved from <http://macroscop.com/raspoznavanie-avtomobilnyix-numerov.html> [in Russian].
6. Sistema raspoznavaniia avtomobilnyh numerov AutoTRASSIR [License plate recognition system AutoTRASSIR]. (n.d.). *www.dssl.ru*. Retrieved from <http://www.dssl.ru/products/autotrassir/> [in Russian].
7. Haar detector. (n.d.). *habrahabr.ru*. Retrieved from <https://habrahabr.ru/post/208092/> [in English].
8. Martinsky, O. Algorithmic and mathematical principles of automatic number plate recognition systems. Retrieved from <http://javaanpr.sourceforge.net/anpr.pdf> [in English].
9. Rasheed, S., Naeem, A. & Ishaq, O. (n.d.). Automated number plate recognition Using Hough Lines and template matching. *www.iaeng.org*. Retrieved from [http://www.iaeng.org/publication/WCECS2012/WCECS2012\\_pp199-203.pdf](http://www.iaeng.org/publication/WCECS2012/WCECS2012_pp199-203.pdf). [in English].
10. Raspoznavaniia avtomobilnyh numerov v detaliah [License plate recognition details]. (n.d.). *habrahabr.ru*. Retrieved from <https://habrahabr.ru/company/recognitor/blog/225913/> [in Russian].
11. Rizvi, S. T. H., Patti, D., Bjorklund, T., Cabodi, G. & Francini, G. (2017). Deep Classifiers-Based License Plate Detection, Localization and Recognition on GPU-Powered Mobile Platform. *Future Internet*, 66 [in English].
12. Massoud, M. A., Sabee, M., Grgais, M. & Bakhit, R. (2013). Automated new license plate recognition in Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 52, 319-326 [in English].



13. Turkyilmaz, I., Kacan, K. (2017). License Plate Recognition System Using Artificial Neural Networks. *ETRI Journal*, 39, 163-172 [in English].
14. Fu, R. (2016). The Research and Design of Vehicle License Plate Recognition System in Traffic Management System. *International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition*, 9, 445-456 [in English].
15. Cortes, C., Vapnik, Vladimir, N. (1995). Support-vector networks. *Machine Learning*, 20 (3), 273–297 [in English].
16. Binarization. (n.d.). *felixniklas.com*. Retrieved from <http://felixniklas.com/imageprocessing/binarization> [in English].
17. Binarizatsia [Binarization]. (n.d.). *habrahabr.ru*. Retrieved from <https://habrahabr.ru/post/129898/> [in English].
18. Elizarov, A. I. & Afanasenko, A. V. (2006). Metodika postroeniya sistem raspoznavaniya avtomobil'nogo nomera [Method of construction license plate recognition system]. *Izvestiia Tomskogo politehnicheskogo universiteta - Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 309(8), 118-122. [in Russian].
19. Binarizatsiia izobrazheniy [Image binarization]. (n.d.). *recog.ru*. Retrieved from: <http://recog.ru/blog/applied/15.html> [in Russian].
20. Radchenko, A. (2017). Vykoristannia zhortkovih neironnih merezh dlia rozpoznavannia avtomobilnih nomeriv na praktitsi [Convolutional neural network for license plate recognition on practice]. *Matematichne ta imitacijne modeljuvannja sistem - Mathematical and simulation modeling of systems*, 428-432. [in Ukrainian].
21. Lecun., Y, Bottou, L., Bengio, Y. & Haffner, P. (1998). Gradient-based Learning Applied to Document Recognition. *Proceedings of the IEEE*, 86 [in English].

УДК 004.93

Володимир Казимир, Руслан Заровський, Андрій Радченко

## РОЗПІЗНАВАННЯ СИМВОЛІВ АВТОМОБІЛЬНИХ НОМЕРІВ РІЗНИХ ФОРМАТІВ

**Актуальність теми дослідження.** Зазвичай процес розпізнавання автомобільних номерів включає такі етапи: детектування номера, його нормалізація, сегментація зображення номера на окремі символи та розпізнавання символів. Ефективність розпізнавання автомобільних номерів залежить від кожного етапу, але для розпізнавання автомобільних номерів різних форматів ключовими етапами є сегментація та розпізнавання символів. Тому розробка методу розпізнавання символів автомобільних номерів різних форматів є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Різні формати автомобільних номерів мають різні шрифти та різне розташування символів, що утруднює процес розпізнавання автомобільних номерів.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Загальні тенденції, що були виявлені в результаті аналізу публікацій, вказують на те, що для розпізнавання символів автомобільних номерів використовуються згорткові нейронні мережі, повноз'язані нейронні мережі, кореляційний аналіз, бінаризацію зображень та побудову гістограм яскравостей.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Усі проаналізовані методи підходять для розпізнавання символів на добре видимих автомобільних номерах. Оскільки в реальних умовах автомобільні номери можуть бути брудними або погано видимими, то використання зазначених методів є недоцільним.

**Постановка завдання.** Метою статті є опис методу розпізнавання автомобільних номерів різних форматів, який має високий відсоток правильного розпізнавання та може бути використаний для розпізнавання автомобільних номерів на відеопотоках з камер, розташованих над трасами.

**Виклад основного матеріалу.** Для розпізнавання символів автомобільних номерів пропонується використовувати гістограму яскравості бінаризованого зображення, для розпізнавання символів – спеціально створену нейронну мережу з можливістю розпізнавання альтернативних частин вихідного зображення автомобільного номера і для відсіву неправильно розпізнаних символів – список форматів автомобільних номерів.

**Висновки відповідно до статті.** Запропонований метод успішно справляється з завданням розпізнавання автомобільних номерів з достовірністю 95–99 %. Але, як показують результати тестування, цей метод має кілька недоліків. По-перше, цей метод погано розпізнає «сміття» на зображенні і часто плутає його з символом «I». По-друге, на брудних номерах або при помилковій детекції номера цей метод багаторазово використовує альтернативне розпізнавання, що призводить до значного навантаження на процесор.

**Ключові слова:** розпізнавання; згорткова нейронна мережа; автомобільний номер.

Рис.: 6. Бібл.: 21.

Владимир Казимир, Руслан Заровский, Андрей Радченко

## РАСПОЗНАВАНИЕ СИМВОЛОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ НОМЕРОВ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМАТОВ

**Актуальность темы исследования.** Обычно процесс распознавания автомобильных номеров включает следующие этапы: детектирование номера, его нормализация, сегментация изображения номера на отдельные символы и распознавание символов. Эффективность распознавания автомобильных номеров зависит от каждого этапа, но для распознавания автомобильных номеров различных форматов ключевыми этапами является сегментация и распознавание символов. Поэтому разработка метода распознавания символов автомобильных номеров различных форматов является актуальной задачей.

**Постановка проблемы.** Различные форматы автомобильных номеров имеют различные шрифты и различное расположение символов, что затрудняет процесс распознавания автомобильных номеров.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Общие тенденции, которые были выявлены в результате анализа публикаций, указывают на то, что для распознавания символов автомобильных номеров используются сверточные нейронные сети, полносвязные нейронные сети, корреляционный анализ, бинаризация изображений и построение гистограмм яркостей.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Все проанализированы методы подходят для распознавания символов на хорошо видимых автомобильных номерах. Поскольку в реальных условиях автомобильные номера могут быть грязными или плохо просматриваются, то использование указанных методов является нецелесообразным.

**Постановка задачи.** Целью статьи является описание метода распознавания автомобильных номеров различных форматов, который имеет высокий процент правильного распознавания и может быть использован для распознавания автомобильных номеров на видеопотоке с камер, расположенных над трассами.

**Изложение основного материала.** Для распознавания символов автомобильных номеров предлагается использовать гистограмму яркости бинаризованного изображения, для распознавания символов – специально созданную нейронную сеть с возможностью распознавания альтернативных частей исходного изображения автомобильного номера и для отсева неправильно распознанных символов – список форматов автомобильных номеров.

**Выводы в соответствии со статьей.** Предложенный метод успешно справляется с задачей распознавания автомобильных номеров с достоверностью 95–99 %. Но, как показывают результаты тестирования, этот метод имеет несколько недостатков. Во-первых, этот метод плохо распознает «мусор» на изображении и часто путает его с символом «I». Во-вторых, на грязных номерах или при ложной детекции номера этот метод многократно использует альтернативное распознавание, что приводит к значительной нагрузке на процессор.

**Ключевые слова:** распознавание; сверточная нейронная сеть; автомобильный номер.

Рис.: 6. Библ.: 21.

**Kazymyr Volodymyr** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**Казимир Володимир Вікторович** – доктор технічних наук, професор, проректор з наукової роботи, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Казимир Владимир Викторович** – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

**ResearcherID:** Q-2925-2016

**Scopus Author ID:** 56644727300

**Zarovsky Ruslan** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**Заровський Руслан Владиславович** – кандидат технічних наук, доцент, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Заровский Руслан Владиславович** – кандидат технических наук, доцент, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5598-1879>

**ResearcherID:** R-2937-2016

**Radchenko Andrii** – PhD student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**Радченко Андрій Олексійович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Радченко Андрей Алексеевич** – аспірант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченка 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**E-mail:** teor292@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5019-8364>

**ResearcherID:** R-2879-2016

UDC 004.72.056.52

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-115-130

*Vitalii Lytvynov, Nikolai Stoianov, Ihor Skiter, Helen Trunova, Alla Hrebennyk***CORPORATE NETWORKS PROTECTION AGAINST ATTACKS USING  
CONTENT-ANALYSIS OF GLOBAL INFORMATION SPACE**

**Urgency of the research.** Further improvement of the security corporate networks in the conditions of massive influence of computer attacks requires an increase in the probability of detection of new computer attacks and a decrease in the recognition time for the signs of known attacks.

**Target setting.** Analysis of the texts of the global information space reduces the time of detection of possible threats.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent publications about systems of defense from attacks and use of text analysis in detecting threats were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** It is necessary to improve the methods of working out the data sets of the body of network packets, content of Internet pages, information of mass media and social networks, which in turn raises the problem of semantic and syntactic processing of natural language texts.

**The research objective.** The aim of the paper is organization collective protection of corporate networks via the introduction of threat monitoring systems, active intelligence activities in the global information space in order to search collect and analyze data about attacks, abnormal behavior, and content of Internet resources.

**The statement of basic materials.** The requirements of security systems to reduce the time of a threat detection lead to the need for active intelligence assessment aimed at continuous monitoring of the surrounding cyberspace that consists of a variety of individual users and organizations' computer networks. The purpose of such monitoring is to determine the characteristics, interests, features of the security policy of a particular corporate network in the global information space. In this context, particular importance attaches to the analysis of text information from both fully and partially open digital sources. A rational solution to this task is the establishment of threat monitoring centers aimed at the organization of collective protection for corporate networks related to them.

**Conclusions.** The proposed method of protection allows both to detect cyber threats in the global information space and to customize their own corporate network security systems in accordance with their characteristic threat vectors.

**Keywords:** systems of defense from attacks; corporate network; intelligence assessment; text representation models; collective protection.

Fig.: 5. Bibl.: 21.

**Introduction.** In the modern world, problems related to the use and spread of malicious software, information attacks and other types of cyber threats, which have received the general name "cybercrime" are becoming more and more relevant.

During its development, the information technology sector has accumulated various types of cybercrime, which causes a great damage to both companies and individuals. According to the ISTR report [1] provided by Symantec (one of the leading developers of information security software), the past 2017 was too active for the attackers and was marked by significant incidents in Europe, the United States and the Middle East. The harm that it caused significantly exceeded the figures for 2012, when the total loss inflicted by IT offenders amounted to \$ 388 billion.

It is clear that IT specialists were first to realize that there were some problems with the fight against cybercrime. According to the survey, most incidents in the field of information security lead to a loss of payment data (13 %), intellectual property (13 %), customer bases (12 %) and staff information (12 %) [2]. Of course, the problem of improving the methods for analyzing network security and preventing violations in order to fight cybercrime remains relevant. Thus, in today's society, cybersecurity issues have become the defining task of protecting the global information space.

**Analysis of recent studies and publications.** Traditional approaches to detecting malware are either limited to the use of signatures – byte sequences that identify malicious software, or heuristic algorithms, but these methods are not capable of detecting new attacks in real time [3].

These days, content analysis of text information is used to prevent threats, along with the analysis of the network traffic characteristics, the behavior of corporate networks and their security policy. Existing systems of text analysis and modeling include different kinds of search engines and information-analytical systems. They are capable of solving such tasks as classification of documents by its subject matter, author identification, detection of plagiarism, modeling representations of the knowledge about the subject area and the content of text, classification and filtering of documents by specified queries, and much more [4; 5; 6].

**Highlighting the previously unsolved parts of the problem.** Enhancement in the effectiveness of security systems and reduced time of threats detection requires a further development in the methods of processing the data arrays of the network packets' body, content of Internet pages and information from mass media and social networks, which raises the problem of semantic and syntactic processing of text, written in natural language.

**The purpose of this paper.** Applying a wider range of information for assessment of cyber threat's level of danger and creation of collective protection for corporate networks through introduction of threat monitoring systems and active intelligence assessment in the global information space of the Internet.

**Main text.**

**1. Global level of corporate networks security.**

The IT community has a considerable amount of experience in solving the tasks of providing information security (cybersecurity) for computer systems. A number of freely distributed and commercial systems of defense from attacks (SDA) was developed and became widely accepted in the field of corporate computer networks building [7–11].

Typical components of SDAs are (Fig. 1):

- a control module designed to configure the system as a whole and issue control commands to its components;
- a sensor block for collecting the output data of network packages, settings, system states, events, messages in system logs, etc.;
- a subsystem of analysis, which identifies the facts of computer attacks and/or abnormal behavior in the information and telecommunication system of the corporate network;
- a storage, which holds the primary information from sensors and signatures, and templates of attacks that are generated by the subsystem of analysis;
- a response module, which is responsible for visualizing the results of the analysis, the generation of warnings, and, in the case of resistance, for the execution of the instructions for selected security methods.

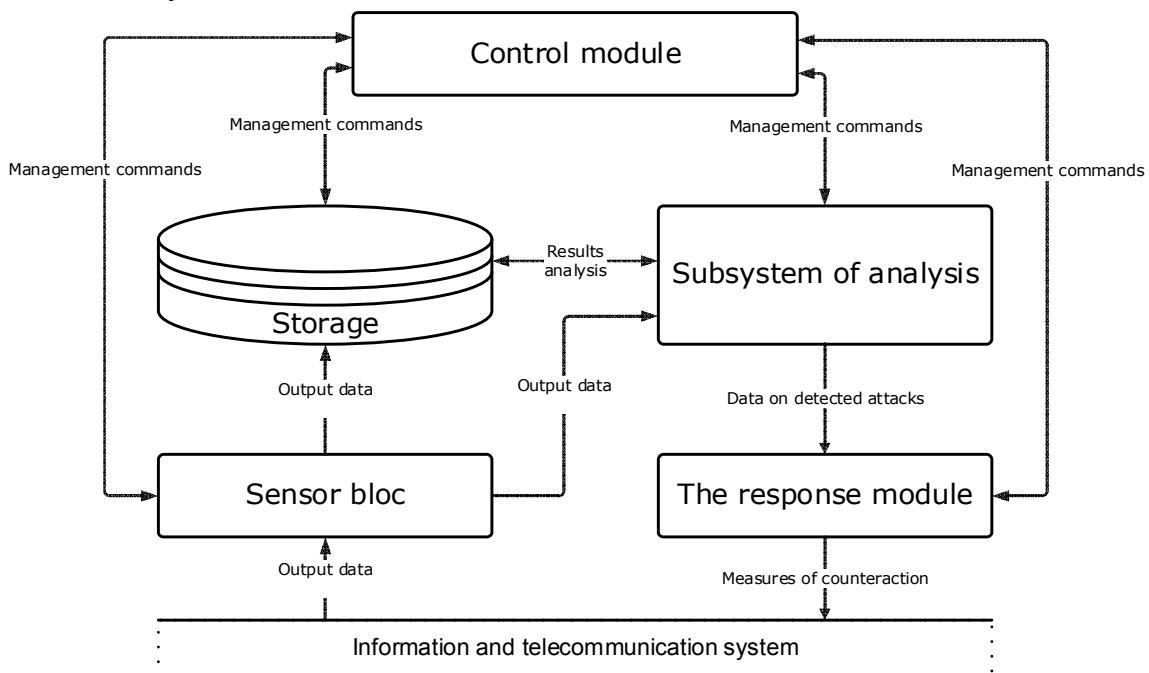


Fig. 1. General architecture of SDA

It is known, that there are two types of basic requirements for SDA:

1. Requirements for detecting non-standard behavior of the computer network and attacks, with aim of minimization of errors of the first and second kind (signaling of non-standard behavior or attack, when it is absent, detection missing of attack or unusual behavior of the network when it takes place);
2. Requirements for detecting attacks in real time.

Earlier, the main efforts of developers were pointed to create effective detection algorithms, satisfying to the first type of requirements. These detection algorithms have used different mathematical basis: statistical methods, methods of automata theory, methods of interacting sequential processes calculus, methods of mathematical logics, neural networks, fuzzy logics, and other formalisms.

Some detection algorithms, in particular algorithms on basis of neural networks have cyber-space-adaptive properties. However, the rapid dynamics of the environment change (the variety of network structures, the variety of types of attacks, etc.) often reduced efforts of designers to zero.

As a rule, the main “bottleneck” of all previous approaches is the violation of time limits adopted for real-time systems. In the case of neural nets detection process adaptation is done by procedure of neural network learning. But it is very time consuming procedure. So, enforcement of adaptive capabilities of detection algorithms leads to slowing of overall detection process.

The way to avoid this dead end situation is following:

- for SDA of corporative information system to use a broader set of analyzed information about environment, that permits to predict behavior of IT system and it's environment;
- to do risk analysis and estimate current or predictable level of danger for corporate nets from known attackers;
- to have time and possibility for corporate system SDA be ready to reflect the most probable attacks.

The first two paragraphs from the above (list), subordinated to the field of intelligence or counterintelligence activity.

According to [12; 13], in the modern world the term political, economic, scientific-technical intelligence means active action, which are aimed at collecting, storage and processing of valuable information, that is closed to outsiders.

A similar definition can be given for counterintelligence activities. Concerning protection corporate computer network from unauthorized access to information, model of attack on computer network always contains step of intelligence activity, as well as protecting the computer network includes counterintelligence activities.

Consider possible approaches to the implementation of the above opportunities.

If the attacker has such information about attacker as: his address and qualification, his preferences regarding the use of certain types of harmful actions, the degree of activity, often gives the opportunity to build both passive and active protection. If the management of passive protection is comes down only to varying their own vulnerabilities, then in contrast to the latter, active protection allows you to carry out counterattacks to the source of the invasion.

In modern SDA, there are three levels of protection from attacks, having access to the processed information:

1. Network layer;
2. Layer of operating system;
3. Application layer (Fig. 2).

Application layer – is responsible for interacting with the end user, layer of OS – is responsible for maintenance of application software and DBMS, network layer – is responsible for the interaction of units of the information and telecommunication system. Each level has its own vulnerabilities.

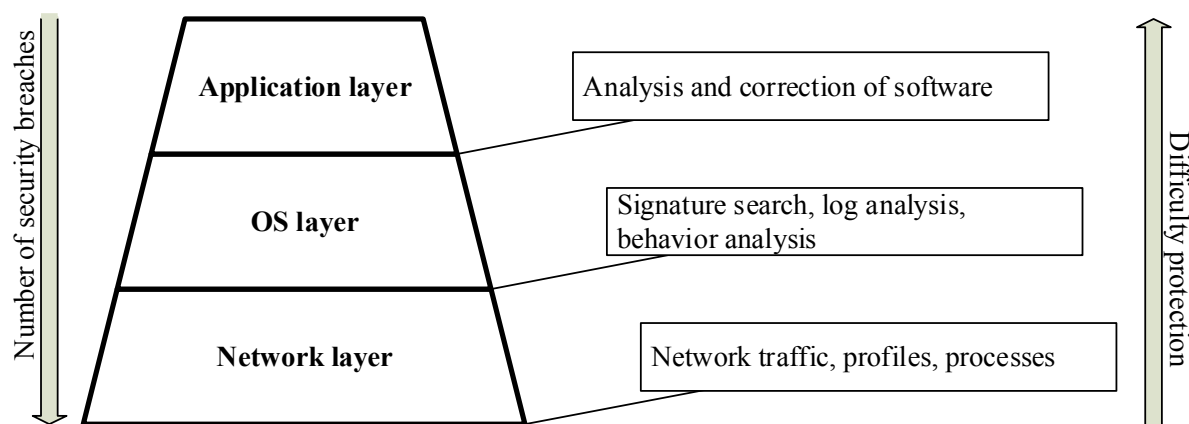


Fig. 2. Levels of protection of computer networks by traditional SDA

At the network layer, the bottleneck is the used sharing protocols between the corporate network and outside environment, which tend to be oriented on the package delivery of the information. The packages have a fixed structure. TSP and IP packages can be an illustration of such structures (Fig. 3).

TCP-header:

Source Port		Destination Port	
Sequence Number			
Acknowledgment Number			
Data Offset	Res	Flags	Window Size
Checksum		Urgent Pointer	
Options			
Data			

IP-header:

Version	IHL	Type of service	Total Length
Identification		Flags	Fragment Offset
Time to Live	Protocol	Checksum	
Source Address			
Destination Address			
Options		Padding	
Data			

Fig. 3. Structure of TCP and IP headers

The analysis of the structure of circulating packages in the corporate network is the essence of the analysis at the network layer of protection in SDA. As a rule, the package flags, the port addresses for network nodes, the time intervals between specific events and so on are analyzed here.

The package contains the information about the sender, which is often represented as a DNS-address. This information is definitely of a great value as it can clearly point at the source of the attack. However, the truth of address information about the source of the attack is often questionable, since it can be easily corrected by the sender of the package. For some protocols, such as mail, the address of the attacker may also be obviously stated. However, as in the previous case, the address of the sender can easily be changed.

As a result, there is a need to allocate one more level of realization of the protective methods – the level of the global network.

At this level the information, which is contained in the text documents on web-sites, global network portals, social networks or other legitimate objects of the information space can be analyzed and both the sources of attacks and their information characteristics can be indirectly identified.

The concept of a text document here is multivalued: it is text information from websites and portals, and emails, and program codes that are entered into the computing environment of the victim's computer. In any case, this level is characterized by, on the one hand, methods used in intelligence activities, including business or competitive intelligence [12], and, on the other hand, methods of text processing [14].

In the latter case, studies in this area have significant scientific results and a stated number of tasks of text processing. These include:

- the task of determining the topic of texts in information-analytical and information retrieval systems. The essence of the task is the automatic classification of texts by thematic categories;
- the task of analyzing patents in information systems;
- the task of finding out the author of the text. This is the task of determining the authorship of an unknown text by selecting features of the author's style and comparing of these features with the peculiarities of other documents which authorship is known;
- the task of detecting plagiarism and incorrect borrowing in order to protect copyright. Its solution is to compare the proposed text with the texts of already known authors in order to determine the degree of coincidence;
- the task of automatic annotation and abstracting. It is a brief characteristic of the document, that shows the main content and is an important component of automatic text processing systems. Most existing annotation systems are based on detection of words and vocabulary units, calculation of their weights in the sentence and determining of sentences with the largest total weight. Compiling the abstract is based on these sentences.

In the IT area, tasks of text analysis acquire specific sense. In particular, some of the most popular are:

- the task of analyzing Internet texts and identifying users characteristics;
- Text Mining, including tasks of information impact on the emotional state of social media users;
- the task of analyzing source program code texts, etc.

IT professionals very often have problems with viruses and other malware. Actual threats include spreading spam, phishing, network attacks on enterprise infrastructure, including target and DDoS attacks, where use potentially dangerous software vulnerabilities.

These and other similar examples show a close relationship between cybersecurity systems and word processing systems: when detecting spam, data loss, detecting and tracking potentially dangerous messages, etc.

As it is pointed out in [14], the main source of the text data in the IT industry are posts of users in social networks, blogs, forums, etc.

Processing of the flows of text messages has different purposes:

- tracking of undesirable, potentially harmful messages, identifying the people behind them;
- determination of the emotional dimensions (tone) of the text messages is used during the advertisement campaigns, including the times when it is used during the creation of the contextual advertising;
- configuring of the information search systems interfaces for each specific user.

The relevant task is the authorship identification of small texts, which appears a way more frequent than the task of the authorship identification of the significant size texts [14]. It is mainly due to the widespread of the *instant messenger* programs for message exchange over the Internet, increasing the role of email during the business communication process, vast popularity of the Internet forums and blogs. Users have an opportunity to send messages without completing the registration forms and without inputting any kind of information about themselves; in this case, the registration is more a formality and the address of the sender can be changed easily.

The tasks of the creator identification of the software, including the identification of the malware creator are closely knitted with the tasks of the information security.

This field of the research is actively evolving lately. From one side, it is connected with intellectual property protection, from another, it is connected with the necessity of cyber threats prevention, which arises because of the malware usage. In the latter case, it is hard to overestimate the possible damage, which can be caused to control systems by the key infrastructure, including to the

military targets. Because there are new kinds of malware being created all over the globe, there is a necessity of the identification of the malicious code creators and bringing them to justice.

As it was mentioned before, we can get the benefit from the methods and approaches used by competitive intelligence for securing the computer networks, as well as its automatization approaches [12; 15], such as:

1. Objectives classification (like questions, topics, avenues for enquiry).
2. Groups of search bots (in the Ukrainian segment of the Internet using the Ukrainian language, in the international web using the main European languages).
3. Programs for automatic information ranking by classifiers.
4. Employees and units classifiers.
5. Programs for automatic information distribution by consumers.
6. Interactive reference books on information-based topics, collected at the present time.

These tools, as well as the presence in the arsenal of cyber security software for word processing tasks, combined with powerful tools for searching information on the Internet, allow the automated support of a number of competitive intelligence scenarios for the purpose of protecting computer networks.

For example, on fig. 4 presents one of the possible scenarios for determining the address of the attacker on the corporate computer network and possible automated support for it.

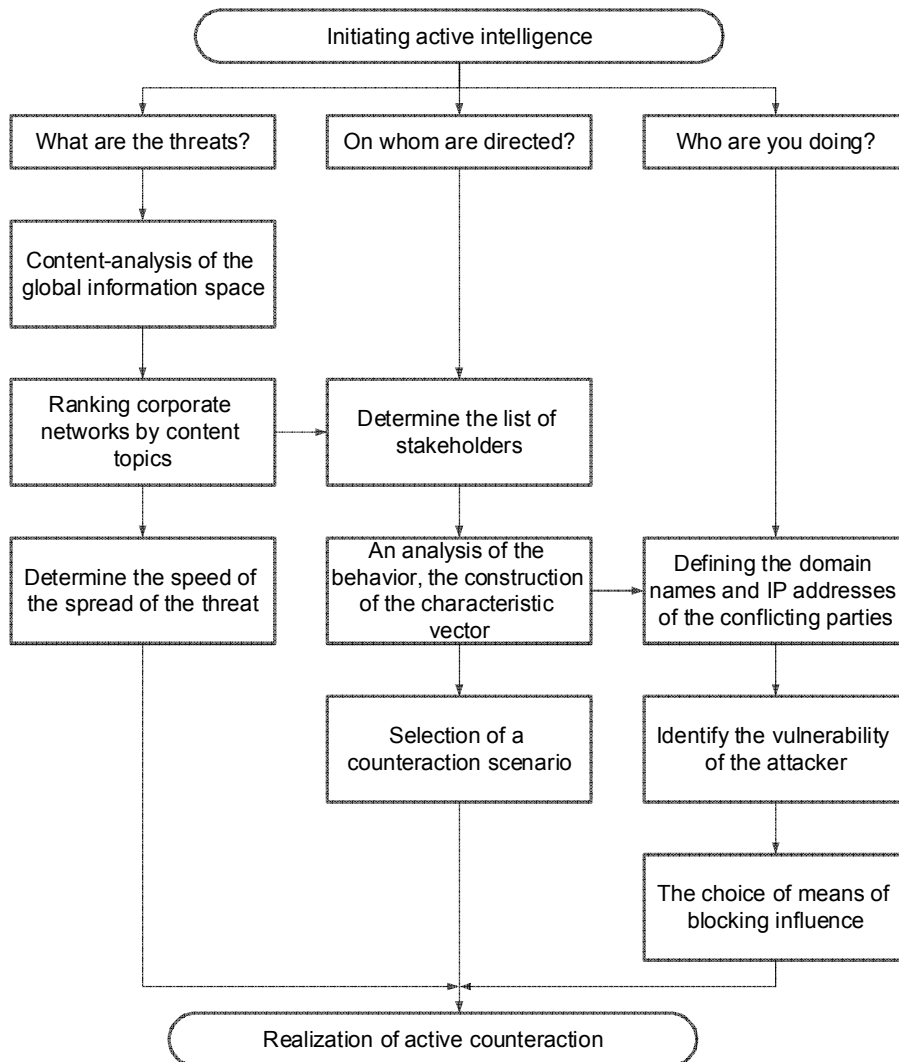


Fig. 4. Implementation of active intelligence on global level of network with using text processing tools



## 2. The formal models of texts representation.

The basis of all above-mentioned tasks of text processing is the formal models of text representation.

Let us consider that a text is a sequence of characters of an alphabet  $A$ , its structure is set by a formal grammar  $G$ , which defines its syntactic construction. Furthermore, words and its forms such as objects, subjects, verb constructions, simple sentences, complex sentences, etc. are highlighted. All the sequences of characters, which are described by grammar, form language. Even grammar involvement for text description gives an opportunity to carry out its characterization, since entry of every next element depends on the previous elements. Statistical dependency between elements of the text can be described with a help of informational portrait of the text, which is made on the basis of mutual information between elements of the texts. On that is pointed out in the works of A. Kolmogorov [16] and R. Piotrovsky [17], where the definition of amount of information in one last object relatively to another is being introduced.

*The statistical models of the text.*

Talking about the models of the texts that were founded on using statistical and informational approach, the view of C. Shannon about the source of information [18] can be used. If we consider the text as a sequence of symbols or other elements, so their occurrence is not random. Any meaningful words or phrases, which form text completely, have statistical structure. In the tasks of analyzing the text its must be accounted.

This approach, which is relied on the views of C. Shannon and fundamental concepts of information theory, was developed in the works of A. Kolmogorov [16] in the probabilistic plan.

It can be used if consider the text as holistic complex system. Any text has a certain meaning that is invariant to the methods of texts presentation. As a complex system text has a semiotic (full of linguistic) nature of informational relations between its subsystems [14].

Let  $x_i$ ,  $i = \overline{1, L}$  – is elements of the text,  $L$  – is a number of different meanings that element  $x_i$  can obtain. Then:  $p(x_i)$  – is a probability of occurrence of element  $x_i$  in the text,  $p(x_i, x_j)$  – is a probability of occurrence of a pair of elements  $x_i$  and  $x_j$ . For well-known texts  $T_1, T_2, \dots, T_m$  the authors  $A_1, A_2, \dots, A_k$  find the value of the selected parameter: the number of inputs of the selected elements in different ways and in their combination then calculate the probability of their appearance in the text, which can be written in the matrix of the probabilities of the collisions of the pair of elements:

$$B_{T_k} = \begin{bmatrix} p(x_1, x_1) & \dots & p(x_1, x_L) \\ \dots & \dots & \dots \\ p(x_L, x_1) & \dots & p(x_L, x_L) \end{bmatrix}, k = \overline{1, m}.$$

Then, for each pair of elements, a quantitative measure of mutual information between them can be brought into conformity, the results of this are presented in the form of the matrix  $MI_{T_k}$  (information portrait of the text  $T_k$ ) of the mutual information between the elements,

$$MI_{T_k} = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1L} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{L1} & \dots & a_{LL} \end{bmatrix}, k = \overline{1, m}.$$

where  $a_{ij} = I(x_i, x_j)$  denotes mutual information between the elements  $x_i$  and  $x_j$ , which is calculated by the formula:

$$I(x_i, x_j) = \log_2 \frac{p(x_i, x_j)}{p(x_i)p(x_j)}, i, j = \overline{1, L}.$$

Informational portraits can be constructed for each text  $T_k$  on a plurality of different text elements for each level of the structural-hierarchical model of the text.

In the work [4] the notion of informational portrait is defined as a set of words and phrases selected automatically, which are important for the chosen sample within a framework of general array of documents.

Informational portrait in this case is based on the identification of the relationship of terms and calculation of the weight coefficients of these terms.

There are two algorithms evaluating the relationship between concepts [14]:

1) the algorithm of joint occurrence, which is based on the calculation of the common occurrence of concepts in the same documents (I type);

2) the context proximity algorithm, which is based on the calculation of the correlations of the sets of keywords included in the documents in which the concepts were mentioned (II type).

Different methods of cluster and factor analysis can be used to regularize the concepts and identify their relationships. As a result of their functioning, the relationship tables will take the form of block-diagonal matrices. Thus, the informational portrait of a text can be regarded as its formalized model.

*Markov models of texts.*

A text is not a random sequence of independent usage of its elements. There are syntactic, semantic, and other dependencies between the elements of the coherent text. An extension of the approach in which symbols are used independently of each other (a probabilistic model of the text) is the Markov model of the generation of text elements [5]. The probability of appearance of an arbitrary element in a text presented in the form of the Markov's chain depends on the previous element.

Consider some arbitrary text  $T$  as a system. Its elementary units (letters, letter combinations, words):  $s_i$ , ( $i = 1, \dots, N$ ).  $S_q$  denotes a state of the system at time  $q$ . The simplest Markov's chain is determined by the set of transition probabilities:

$$P[S_q = s_i] = P[S_q = s_i | S_{q-1} = s_{i-1}].$$

With the complication of this model, the probability of occurrence of this element is considered to be dependent on the group of previous elements. Assume that the appearance of some element  $s_i$  depends on  $k$  previous elements, then:

$$P[S_q = s_i] = P[S_q = s_i | S_{q-1} = s_{i-1}, \dots, S_{q-k} = s_{i-k}].$$

A similar model allows a more complete characterization of the structure of the text.

*Relational Model of Text.*

Much of the text processing literature a formalized model of text was seen as  $\langle E, R \rangle$  pair, where  $E$  – set of essence that establish a construction of the text,  $R$  – finitary relations which are usually verb form in the text. Based on the model ontologies are built [19] which comprise the description of subject areas. The latter sometimes given as a way of presenting knowledge that enshrined in the text.

In the IT sector practice of using relational model of text is quite extensive: from designing applications to the use of information search mechanisms.

*Logical and linguistic model of text.*

The logic-linguistic model of the text is widely used in a mathematical linguistics [6, 20]. It allows to present arbitrary sentences as the conjunction of atomic predicates, each of which describes the indivisible content of the sentence:

$$L^S = \bigwedge_{p \in P^S} \bigwedge_{h \in H_p^S} L_p^S(h), \tag{1}$$

$$L_p^S(h) = \bigwedge_{x \in X_p^S(h)} \bigwedge_{g \in G_p^S(x,h)} L_p^S(x, g, h), \tag{2}$$

$$L_p^S(x, g, h) = \bigwedge_{y \in Y_p^S(x,g,h)} \bigwedge_{q \in Q_p^S(x,g,y,h)} L_p^S(x, g, y, q, h), \tag{3}$$

$$L_p^S(x, g, y, q, h) = \bigwedge_{z \in Z_p^S(x,g,y,q,h)} \bigwedge_{r \in R_p^S(x,g,y,q,z,h)} L_p^S(x, g, y, q, z, r, h), \tag{4}$$

where  $S$  – sentence of natural language;

$p$  – relation that connects actors, objects and subjects of relations in the sentence that connects actors, objects and items of relations in the sentence  $S$ ,  $p \in P^S$  – set of relations included in the sentence  $S$ ;

$h$  – characteristic of the  $p$ -th sentence  $S$  relation,  $h \in H_p^S$  – the set of characteristics of the  $p$ -th relation in sentence  $S$ ;

$L_p^S(h)$  – predicate that describes  $p$ -th relation to the characteristic  $h$  and connects actors, objects and items of relation  $p$  in sentence  $S$ ;

$x$  – sentence subject  $S$ ,  $x \in X_p^S(h)$  – set of entities associated with the objects of sentence  $S$  by  $p$ -th relation that has a characteristic  $h$ ;

$g$  – characterization of the subject  $x$  of the sentence  $S$ ,  $g \in G_p^S(x, h)$  – set of characteristics of the subject  $x \in X_p^S(h)$ ;

$L_p^S(x, g, h)$  – predicate that describes the  $p$ -th relation with the characteristic  $h$  between the subject  $x \in X_p^S(h)$  with the characteristic  $g \in G_p^S(x, h)$ , the objects and items of the  $p$ -th relation in sentence  $S$ ;

$y$  – sentence object  $S$ ,  $y \in Y_p^S(x, g, h)$  – set of entities associated with the objects of sentence  $S$  by  $p$ -th relation that has a characteristic  $h$ ;

$q$  – characteristic of the object  $y$  of the sentence  $S$ ,  $q \in Q_p^S(x, g, y, h)$  – set of characteristics of the object  $y \in Y_p^S(x, g, h)$ ;

$L_p^S(x, g, y, q, h)$  – predicate that describes the  $p$ -th relation with the characteristic  $h$  between the subject  $x \in X_p^S(h)$  with the characteristic  $g \in G_p^S(x, h)$ , the objects  $y \in Y_p^S(x, g, h)$  with the characteristic  $q \in Q_p^S(x, g, y, h)$  and objects of the  $p$ -th relation in sentence  $S$ ;

$z$  – subject of the  $p$ -th relation of the sentence  $S$ ,  $z \in Z_p^S(x, g, y, q, h)$  is the set of objects of the  $p$ -th relation, which has the characteristic  $h$ , between the subject  $x \in X_p^S(h)$  with the characteristic  $g \in G_p^S(x, h)$  and the object  $y \in Y_p^S(x, g, h)$  with the characteristic  $q \in Q_p^S(x, g, y, h)$ ;

$r$  – characteristic of the subject of the  $p$ -th sentence relation  $S$ ,  $r \in R_p^S(x, g, y, q, z, h)$  – set of characteristics of an object  $z \in Z_p^S(x, g, y, q, h)$ ;

$L_p^S(x, g, y, q, z, r, h)$  – simple, atomic predicate that describe a sentence part that has a finished content and describes in the sentence  $S$  the  $p$ -th relation with the  $h$ -th characteristic between the subject  $x \in X_p^S(h)$  with the characteristic  $g \in G_p^S(x, h)$  and the object  $y \in Y_p^S(x, g, h)$  with the characteristic  $q \in Q_p^S(x, g, y, h)$ , whose subject  $z \in Z_p^S(x, g, y, q, h)$  has the characteristic  $r \in R_p^S(x, g, y, q, z, h)$ .

The logic-linguistic model  $L^S$  of sentence  $S$  is represented by the set of formulas (1-4) presented above and is formally described by the sequence of the eight conjunctions included in these formulas. The transition from the general formula  $L^S$  to the predicate  $L_p^S(x, g, y, q, z, r, h)$  is a decomposition of the problem of the formal description of the arbitrary sentence of the natural language and reflects a systematic approach to its solution. Therefore, the complex expression  $L^S$  is true if and only if all elementary predicates of the type  $L_p^S(x, g, y, q, z, r, h)$  are included.

#### *Multidimensional text model.*

Every text object can be set with a set of some values. Sign selection depends on the processed texts, aims and tasks of the data analysis and other factors. The character of the signs also can be different, qualitative and quantitative, binary (dichotomous), ordinal, etc. However, in any case their complex can be treated as appropriate -dimensional space of signs, and given objects as points of this space. In some tasks, including text information analysis tasks, data is often presented by not the separate signs values, but with probability values of some variable  $\rho(x_i, x_j)$ , which characteri-

zes objects pairwise mutual accordances  $x_i$  i  $x_j$ . Depending on the aims of tasks the degree of similarity or difference is examined, in last case such description denotes distance between objects. Anyway when solving data analysis problems geometrical closeness of two or more points in this - dimensional space means the closeness of corresponding objects, i.e. their homogeneity. The separate classes (clusters) of objects will be represented by coherent areas in this space.

As an example, it is possible to point the next possible signs of every level.

For the level of letters as signs can come forward: frequencies of separate letters appearance, frequencies of separate syllables and signs appearance, frequencies of  $n$ -gram subsequences of characters from text appearance. For the level of words: frequencies of appearance of separate words, word-parts, bases of words or a few words.

For the level of sentences: frequencies of appearance of sentences with the fixed amount of words, with a certain grammatical construction, using special turns, etc.

In the semantic representation of the text, the value of different attributes as well can be defined at all levels of the semantic hierarchy. Then a collection of documents can be presented in the form of a matrix "Object- sign"  $KT = [x_{ij}]$ , in which lines correspond to texts ( $i = \overline{1, m}$ ), columns - to signs ( $j = \overline{1, G}$ ), and matrix elements – to the value of sign for each text. . Matrix "Term- document" is formalized by an expression, which is a separate case of transposed matrix "Object- sign".

To reduce the dimension of the matrix "Text-sign" and detection the most informative features can be used singular decomposition of the matrix (SVD – singular value decomposition). An arbitrary matrix can be represented as:

$$M = U W V^T,$$

where  $U$  i  $V^T$  – are orthogonal matrices,

$W$  – diagonal matrix, in addition, its elements are sorted in descending order. Elements of the matrix  $W$  – are singular numbers.

Columns and rows of matrices  $U$  i  $V^T$ , which correspond to a small singular numbers, make the smallest contribution to the final text, so their exclusion will allow to reduce the dimension of the matrix  $M$  without significant losses for further calculations [21]. Large singular numbers are main information characteristics, others contain random noise.

When using methods as analysis of main components, factor and discriminatory analysis and others in classical multidimensional data analysis, the "Object-sign" matrix is converted into covariance (correlation) matrix. In this case, the covariance matrix is a square matrix of the "sign-sign" type and it characterizes the degree of proximity (similarity) of signs. However, in practice, to describe text objects is often used representation form of an objects proximity matrix (matrix of "object-object" type).

The correlation matrix "object-object" defines the degree of similarity of the objects, and its elements are determined by the formula:

$$r_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{kj} - \bar{x}_k)}{\sqrt{\sum_{j=1}^M (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \sum_{j=1}^M (x_{kj} - \bar{x}_k)^2}},$$

where  $\bar{x} = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M x_j$  – the average value.

Formulas are used to calculate the coefficients of the rank correlation when not quantitative values of signs are considered. At the same time, using the developed methods of data multidimensional analysis, it is necessary to take into account the features of the text as a real object and it is essential to consider the process of text structures formation, when compiling models and presenting texts in the form of a multidimensional object.

### 3. Evaluation of cyberspace from the perspective of threats to corporate computer networks.

Sure, active intelligence of cyberspace in the interests of cyber security of corporate computer networks needs to calculate some threat indicators. For corporate computer networks these indicators can be considered as a vector of threats from different attacks:

$$R(t) = \langle r_1(t), r_2(t), \dots, r_n(t) \rangle,$$

where  $r_i(t) = P_i(t) * C_i$  - risk of  $i$ -type attack during  $t$ -time,

$P_i(t)$  – corporate network's probability of being attacked by  $i$ -type attack during  $t$ -time,

$C_i$  – cost of lost cause of  $i$ -type attacks.

Calculations of risks from various attacks require the identification of sources of attacks on indirect grounds, determining their inclinations to attacks or undesirable influences of one kind or another, determining the characteristics of attack activity, calculating predictive activity indicators based on time series analysis, and the like.

The ordering of the elements of this vector in descending risk values is reduced to the construction of the vector  $R^*(t)$ , the first elements of which indicate the attacks, which should strengthen the protection of the computer network.

This protection becomes possible or by configuring the corporate network SDA to prepare the activation of attack detection algorithms in accordance with the vector  $R^*(t)$ , or by eliminating the vulnerabilities that use this type of attack. Given the temporary limitations of the attack detection process, such actions should be performed based on predictions of the activity of potential attack sources, the detection of which is the task of the global network security level of the corporate network.

### 4. Collective protection of corporate networks against computer attacks.

As can be seen from the previous arguments, the task of text processing and the task of assessing cyber threats indicators for corporate networks, inherent to the global network level, are complex resource-intensive tasks.

Given the temporary requirements for the SDA, it can be assumed that including them in the latter will entail a slowdown in the performance of basic functions and an unjustified increase in resource consumption. At the same time, in our opinion, assigning functions of the globally-lingual level of protection of the corporate network to the functions of a separate computer complex that manages this level of protection of several corporate networks and determines the threat indicators for each of them is a promising solution. We may call this complex as System Monitoring Unit (SMU).

In addition to the parallelism in performing certain functions of SMU and SDA, this solution allows for the collective protection of subordinate corporate computer networks against computer attacks. The essence of this protection is to conduct self-diagnostics of corporate computer networks with the help of SDA, exchange of information about attacks and non-standard behavior with partners, about interference in work. Here you can solve the problem of determining the speed of the spread of external interventions, the coordination of the parameters of the SDA, including the coordination of efforts to analyze unknown invasions.

The structure of SMU complex is shown in Fig. 5.

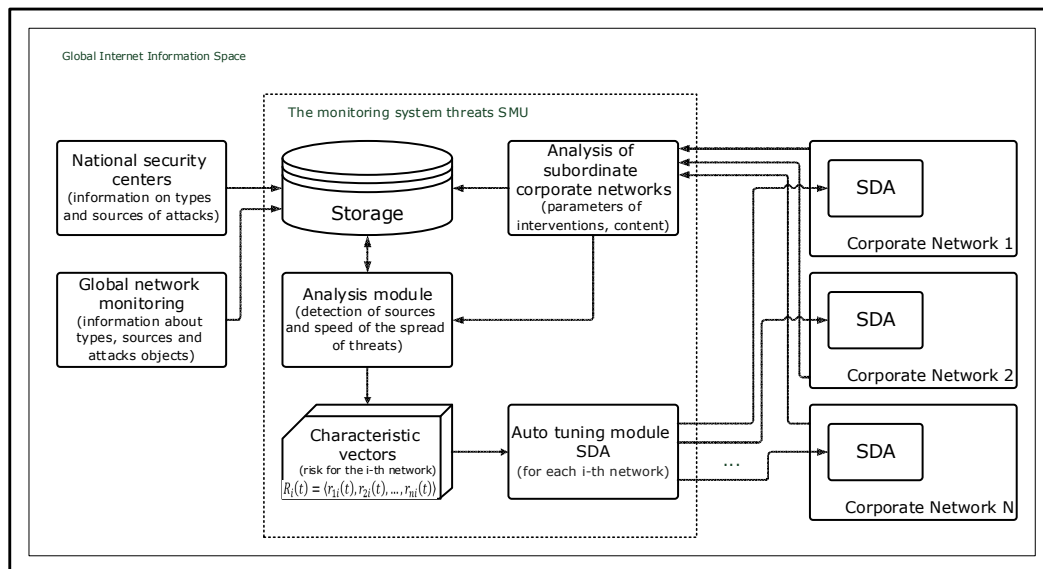


Fig. 5. Architecture of SMU

In our opinion, the rational use of the proposed complex is to support the activities of the regional cybersecurity center, which is designed not only to perform the functions of operative protection of wards of corporate networks, but also to support their audit.

**Conclusions and suggestions.** Further improvement of the security and stability in functioning of the information and telecommunication systems of corporate networks in the conditions of massive influence of computer attacks requires an increase in the probability of detection of new computer attacks and a decrease in the recognition time for the signs of known attacks.

To solve this problem, it is not enough to use only traditional methods that utilize identification characteristics of network traffic and information about the work of corporate networks and security devices. The processing of data sets of the body of network packages, content of Internet pages, information from mass media and social networks is very valuable in this area.

Processing, careful analysis and synthesis of information collected from Internet resources is made using content and/or rapid analysis methods, bibliometric and/or cluster analysis, as well as expert and/or situational methods.

However, a tight time limit for the search, collection, extraction and processing of information circulating in the global information space of the Internet, its accumulation, classification by certain attributes, further analysis, synthesis, compilation and making it accessible to the concerned users, as well as transformation into synthesized conclusions and recommendations necessitates some arrangements. First, the automation of all measures in the complex of risks monitoring system associated with these processes. Second, the configuration of SDAs subordinate to the SMUs of corporate networks according to their risk vectors.

The development of a corporate networks protection model with a collective SMU defense module, methods for detecting and identifying computer attacks with help of content analysis of the global information space and the architecture of SDA, related to it, will provide a basis for the synthesis of a reliable and high-performance adaptive cyber threats detection systems and will shorten the detection time of the computer attacks of the new generation.

## References

1. Internet Security Threat Report. (2017). *www.symantec.com*. Retrieved from <https://www.symantec.com/security-center/threat-report>.
2. Chekunov, I. G. (2012). *Sovremennye kiberugrozy. Ugolovno-pravovaya i kriminologicheskaya kvalifikatsiya kiberprestuplenii* [Modern cyber threats. Criminally-legal and criminological expertise cybercrime]. *Pravo i kiberbezopasnost – Law and Cybersecurity*, 1, 9-22 [in Russian].

3. Uwe, A. & Dasgupta, D. (2005). *Artificial immune systems*. In: *Introductory Tutorials in Optimisation, Decision Support and Search Methodology* (E. Burke and G. Kendall Eds.). Retrieved from [http://eprints.nottingham.ac.uk/336/1/05intros\\_ais\\_tutorial.pdf](http://eprints.nottingham.ac.uk/336/1/05intros_ais_tutorial.pdf) [in English].
4. Surkova, A. S. (2014). Identifikatsiia avtorstva tekstov na osnove informatsionnykh portretov [Identification of authorship of texts based on information portraits]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo – Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky*, 3 (1), 145–149 [in Russian].
5. Hmelev, D. V. (2000). Raspoznavanie avtora teksta s ispolzovaniem tsepey A.A. Markova [Recognition of the author of the text using chains A. A. Markov]. *Vestnik MGU. Seriya: Filologiya – Bulletin of the Moscow State University. Series: Philology*, 2, 115–126 [in Russian].
6. Vavilenkova, A. I. (2015). Porivnialnyi analiz rechen pryrodnoi movy za zmistom [Comparative analysis of sentences of natural language in content]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical Machines and Systems*, 2, 97–103 [in Ukrainian].
7. Gamayunov, D. Ju. (2007). Obnaruzhenie kompyuternykh atak na osnove analiza povedeniya setevykh obektov [Detection of computer attacks on the basis of the analysis of the behavior of network objects]. *Candidate's thesis* [in Russian].
8. Chi, S.-D., Park, J. S., Jung, K.-C. & Lee, J.-S. (2001). Network security modeling and cyber-attack simulation methodology. *Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 2119*.
9. Kotenko, I. V., Stepashkin, M. V. & Bogdanov, V. S. (2006). Arkhitektury i modeli komponentov aktivnogo analiza zashchishchennosti na osnove imitatsii deistvii zloumyshlennikov [Architectures and models of active security analysis components based on simulated actions of intruders]. *Problemy informatsionnoi bezopasnosti. Kompjuternye sistemy – Problems of information security. Computer systems*, 2, 7–24 [in Russian].
10. Kotenko, I. V., Stepashkin, M. V. (2005). Analyzing Vulnerabilities and Measuring Security Level at Design and Exploitation Stages of Computer Network Life Cycle. *Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, 3685*.
11. Lukatskiy, A. V. (2001). *Obnaruzhenie atak [Detection of attacks]*. St. Petersburg: BHV-Peterburg [in Russian].
12. Prilukov, M. V. (2006). Rol delovoi (konkurentnoy) razvedki v obespechenii natsionalnoi bezopasnosti i politicheskoi stabilnosti v Rossiiskoy Federatsii [The role of business (competitive) intelligence in ensuring national security and political stability in the Russian Federation]. *Candidate's thesis* [in Russian].
13. Buriachok, V. L. (2013). Metodolohiia formuvannia derzhavnoi systemy kibernetichnoi bezpeky [Methodology of forming a state system of cybernetic security]. *Doctor's thesis* [in Ukrainian].
14. Surkova, A. S. (2016). Kontseptualnyi analiz, printsipy modelirovaniia i optimizatsiia algoritmov sinteza tekstovykh struktur [Conceptual analysis, principles of modeling and optimization of algorithms for the synthesis of text structures]. *Doctor's thesis*. Nizhniy Novhorod [in Russian].
15. Dodonov, V. O. (2017). Informatsiini tekhnolohii analizu ta vyiavlennia informatsiinoho vplyvu v sotsialnykh merezhakh na osnovi multyahentnykh modelei rozpovsiudzhennia informatsii [Information technologies for analyzing and detecting information influence in social networks on the basis of multiagent information dissemination models]. *Candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
16. Kolmohorov, A. N. (1991). Tri podhoda k opredeleniju ponjatija «Kolichestvo informacii» [Three approaches to defining the concept of «Quantity of Information»]. *Novoe v zhizni, nauke, tehnike. Seriya «Matematika, kibernetika» – New in life, science, technology. Series «Mathematics, cybernetics»*, 1, 24–29 [in Russian].
17. Piotrovskiy, R. H. (1975). *Tekst, mashina, chelovek [Text, machine, man]*. Leninhrad: Nauka [in Russian].
18. Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *Bell System Technical*, (Vols. 27), 379–423 [in English].
19. Web Ontology Language (n.d.). [www.w3.org](http://www.w3.org). Retrieved from <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL> [in English].
20. Vavilenkova, A. I. (2015). Informatsiina tekhnolohiia obrobky tekstovoi informatsii na osnovi pobudovy lohiko-linhvistychnykh modelei [Information technology for processing textual information on the basis of constructing logical-linguistic models]. *International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus*, (Vols. II), 377–380 Varna, Bulharia [in Ukrainian].

21. Vorontsov, K. V. *Mashinnoe obuchenie [Machine learning]*. Retrieved from <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Mo> [in Russian].

### References (in language original)

1. *Internet Security Threat Report* [Online]. – Available : <https://www.symantec.com/security-center/threat-report>.
2. Чекунов И. Г. Современные киберугрозы. Уголовно-правовая и криминологическая квалификация киберпреступлений / И. Г. Чекунов // *Право и кибербезопасность*. – 2012. – № 1. – С. 9–22.
3. Aickelin, Uwe and Dasgupta, D. Artificial immune systems. In: *Introductory Tutorials in Optimisation, Decision Support and Search Methodology* (eds. E. Burke and G. Kendall). Kluwer. Report [Online]. – Available : [http://eprints.nottingham.ac.uk/336/1/05intros\\_ais\\_tutorial.pdf](http://eprints.nottingham.ac.uk/336/1/05intros_ais_tutorial.pdf).
4. Суркова А. С. Идентификация авторства текстов на основе информационных портретов / А. С. Суркова // *Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского*. – 2014. – № 3 (1). – С. 145–149.
5. Хмелев Д. В. Распознавание автора текста с использованием цепей А. А. Маркова / Д. В. Хмелев // *Вестник МГУ. Сер. 9: Филология*. – 2000. – № 2. – С. 115–126.
6. Вавіленкова А. І. Порівняльний аналіз речень природної мови за змістом / А. І. Вавіленкова // *Математичні машини і системи*. – 2015. – № 2. – С. 97–103.
7. Гамаюнов Д. Ю. Обнаружение компьютерных атак на основе анализа поведения сетевых объектов : дис. ... канд. физ.-мат. наук : спец. 05.13.11 / Гамаюнов Денис Юрьевич. – М., 2007. – 89 с.
8. *Network security modeling and cyber-attack simulation methodology* / Chi S.-D., Park J.S., Jung K.-C., Lee J.-S. // *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag. – 2001. – Vol. 2119.
9. Котенко И. В. Архитектуры и модели компонентов активного анализа защищённости на основе имитации действий злоумышленников / И. В. Котенко, М. В. Степашкин, В. С. Богданов // *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы*. – 2006. – № 2. – С. 7–24.
10. Kotenko I. V. Analyzing Vulnerabilities and Measuring Security Level at Design and Exploitation Stages of Computer Network Life Cycle / I. V. Kotenko, M. V. Stepashkin // *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag. – 2005. – Vol. 3685.
11. Лукацкий А. В. Обнаружение атак / А. В. Лукацкий. – СПб. : БХВ-Петербург, 2001. – 624 с.
12. Прилуков М. В. Роль деловой (конкурентной) разведки в обеспечении национальной безопасности и политической стабильности в Российской Федерации: дис. ... канд. полит. наук : спец. 23.00.02 / Прилуков Михаил Витальевич. – М., 2006. – 351 с.
13. Бурячок В. Л. Методологія формування державної системи кібернетичної безпеки : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 21.05.01 / Бурячок Володимир Леонідович. – К., 2013. – 397 с.
14. Суркова А. С. Концептуальный анализ, принципы моделирования и оптимизация алгоритмов синтеза текстовых структур : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.13.01 / Суркова Анна Сергеевна. – Нижний Новгород, 2016. – 343 с.
15. Додонов В. О. Інформаційні технології аналізу та виявлення інформаційного впливу в соціальних мережах на основі мультиагентних моделей розповсюдження інформації : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.13.06 / Додонов Вадим Олександрович. – К., 2017. – 143 с.
16. Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «Количество информации» / А. Н. Колмогоров // *Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика»*. – 1991. – № 1. – С. 24–29.
17. Пиотровский П. Г. Текст, машина, человек / П. Г. Пиотровский. – Л. : Наука, 1975. – 327 с.
18. Shannon C. E. A mathematical theory of communication / C. E. Shannon // *Bell System Technical*. – 1948. – Vol. 27. – P. 379–423.
19. *Web Ontology Language (OWL)* [Online]. – Available : <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL>.
20. Вавіленкова А. І. Інформаційна технологія обробки текстової інформації на основі побудови логіко-лінгвістичних моделей / А. І. Вавіленкова // *International Scientific Journal Acta Universitatis Pontica Euxinus. Special number for XI international conference «Strategy of quality in industry and education»* (Varna, Bulgaria, 1–5 June 2015). – Varna, Bulgaria, 2015. – Vol. II. – P. 377–380.
21. Воронцов К. В. Машинное обучение (курс лекций) [Электронный ресурс] / К. В. Воронцов. – Режим доступа : <http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=Mo>.



УДК 004.72.056.52

Віталій Литвинов, Микола Стоянов, Ігор Скітер,  
Олена Трунова, Алла Гребенник

## ЗАХИСТ КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖ ВІД АТАК З ВИКОРИСТАННЯМ КОНТЕНТ-АНАЛІЗУ ГЛОБАЛЬНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ

*Актуальність теми дослідження.* Подальше вдосконалення захищеності корпоративних мереж в умовах масованого впливу комп'ютерних атак вимагає підвищення ймовірності виявлення нових комп'ютерних атак і зменшення часу розпізнавання ознак відомих атак.

*Постановка проблеми.* Аналіз текстів глобального інформаційного простору дозволяє скоротити час виявлення можливих загроз.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Були розглянуті останні публікації щодо систем захисту від атак та використання аналізу текстів у разі виявлення загроз.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Вдосконалення методів опрацювання масивів даних тіла мережеских пакетів, вмісту інтернет-сторінок, інформації СМІ та соціальних мереж, що у свою чергу порушує проблему семантико-синтаксичної обробки текстів природної мови.

*Постановка завдання.* Організація колективного захисту корпоративних мереж шляхом впровадження систем моніторингу загроз, активної розвідувальної діяльності в глобальному інформаційному просторі з метою пошуку, збору та аналізу даних про атаки, аномальну поведінку, вміщуваний контент ресурсів мережі Інтернет.

*Виклад основного матеріалу.* Вимоги систем захисту щодо скорочення часу виявлення загроз призводять до необхідності ведення активної розвідувальної діяльності, спрямованої на проведення постійного моніторингу оточуючого кіберпростору, що складається з множини комп'ютерних мереж окремих користувачів та організації. Метою такого моніторингу є визначення характеристик, інтересів, особливостей політики безпеки конкретної корпоративної мережі в глобальному інформаційному просторі. Особливе значення при цьому набуває аналіз текстової інформації з відкритих та умовно-відкритих електронних джерел. Раціональним вирішенням такого завдання є формування центрів моніторингу загроз, спрямованих на організацію колективного захисту підлеглих корпоративних мереж.

*Висновки відповідно до статті.* Запропонований метод захисту дозволяє як виявляти кіберзагрози в глобальному інформаційному просторі, так і налаштовувати власні системи захисту корпоративних мереж згідно з їх характеристичними векторами загроз.

*Ключові слова:* системи захисту від атак; корпоративна мережа; розвідувальна діяльність; моделі представлення текстів; колективний захист.

Рис.: 5. Бібл.: 21.

УДК 004.72.056.52

Віталій Литвинов, Николай Стоянов, Игорь Скитер,  
Елена Трунова, Алла Гребенник

## ЗАЩИТА КОРПОРАТИВНЫХ СЕТЕЙ ОТ АТАК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТЕНТ-АНАЛИЗА ГЛОБАЛЬНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА

*Актуальность темы исследования.* Дальнейшее усовершенствование защищенности корпоративных сетей в условиях массивного влияния компьютерных атак требует роста вероятности выявления новых компьютерных атак и уменьшения времени распознавания признаков известных атак.

*Постановка проблемы.* Анализ текстов глобального информационного пространства позволяет сократить время обнаружения возможных угроз.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Были рассмотрены последние публикации по системам защиты от атак и использовано анализ текстов для обнаружения угроз.

*Выделение неисследованных частей общей проблемы.* Совершенствование методов обработки массивов данных тела сетевых пакетов, содержания интернет-страниц, информации СМІ и социальных сетей, что в свою очередь поднимает проблему семантико-синтаксической обработки текстов естественного языка.

*Постановка задачи.* Организация коллективной защиты корпоративных сетей путем внедрения систем мониторинга угроз, активной разведывательной деятельности в глобальном информационном пространстве с целью поиска, сбора и анализа данных об атаках, аномальном поведении, размещаемом контенте ресурсов сети Интернет.

*Изложение основного материала.* Требования систем защиты относительно минимизации времени выявления угроз приводят к необходимости ведения активной разведывательной деятельности, направленной на ведение постоянного мониторинга окружающего киберпространства, состоящего из множества компьютерных сетей отдельных пользователей и организаций. Цель такого мониторинга - определение характеристик, интересов, особенностей политики безопасности конкретной корпоративной сети в глобальном информационном пространстве. Особое значение при этом приобретает анализ текстовой информации из открытых и условно-открытых электронных источников. Рациональным решением такой задачи является формирование центров мониторинга угроз, направленных на организацию коллективной защиты подчиненных корпоративных сетей.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Выводы в соответствии со статьей.** Предложенный метод защиты позволяет как выявлять киберугрозы в глобальном информационном пространстве, так и настраивать собственные системы защиты корпоративных сетей в соответствии с их характеристическими векторами угроз.

**Ключевые слова:** системы защиты от атак; корпоративная сеть; разведывательная деятельность; модели представления текстов; коллективная защита.

Рис.: 5. Библ.: 21.

**Lytvynov Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**Литвинов Віталій Васильович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Литвинов Виталий Васильевич** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**E-mail:** vlitvin@ukrsoft.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2334-2275>

**Stoianov Nikolai** – Doctor of Technical Sciences, Associate professor, Deputy Director, Bulgarian Bulgarian Defence Institute Prof. Tsvetan Lazarov (2 Professor Tsvetan Lazarov Blvd., 1592, Sofia, Bulgaria).

**Стоянов Микола** – доктор технічних наук, доцент, заступник директора, Болгарський інститут оборони ім. Цветана Лазарова (бульвар Професора Цветана Лазарова, 2, м. Софія, Болгарія, 1592).

**Стоянов Николай** – доктор технических наук, доцент, заместитель директора, Болгарский институт обороны им. Цветана Лазарова (бульвар Профессора Цветана Лазарова, 2, г. София, Болгария, 1592).

**E-mail:** n.stoianov@di.mod.bg

**Skiter Igor** – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Assistant Professor, Doctoral Candidate, the Institute of Mathematical Machines and Systems Problems National Academy of Science of Ukraine (42 Academician Glushkova Av., 03187, Kyiv, Ukraine).

**Скітер Ігор Семенович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, докторант, інститут проблем математичних машин і систем НАН України (просп. Глушкова, 42, м. Київ, 03187, Україна).

**Скитер Игорь Семенович** – кандидат физико-математических наук, доцент, докторант, институт проблем математических машин и систем НАН Украины (просп. Глушкова, 42, г. Киев, 03187, Украина).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2334-2276>

**ResearcherID:** F-5950-2014

**Trunova Helen** – PhD in Pedagogical Sciences, Assistant Professor, Assistant Professor of Department of Information Technology and Software Engineering, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**Трунова Олена Василівна** – кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри інформаційних технологій та програмної інженерії, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Трунова Елена Васильевна** – кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**E-mail:** e.trunova@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-0689-8846>

**Hrebennyk Alla** – PhD student, the Institute of Mathematical Machines and Systems Problems National Academy of Science of Ukraine (42 Academician Glushkova Av., 03187, Kiev, Ukraine).

**Гребенник Алла Григорівна** – аспірант, Інститут проблем математичних машин і систем НАН України (просп. Глушкова, 42, м. Київ, 03187, Україна).

**Гребенник Алла Григорьевна** – аспирант, Институт проблем математических машин и систем НАН Украины (просп. Глушкова, 42, г. Киев, 03187, Украина).

**E-mail:** grebennik.alla@gmail.com

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 629.735

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-131-139

Сергей Владов, Сергей Бойко, Алексей Городний,  
Яна Климова, Леонид Вершняк

### ПРИМЕНЕНИЕ УРАВНЕНИЙ МАРКОВСКОГО ПРОЦЕССА ПРИ ДИАГНОСТИКЕ СОСТОЯНИЯ АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ВЕРТОЛЕТА МИ-8МТВ ПРИ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В РЕАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

*Актуальность темы исследования.* Эксплуатация вертолёта Ми-8МТВ продолжается не только в Украине, но и в других странах мира. Таким образом, актуальной научно-практической задачей является диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя вертолёта Ми-8МТВ.

*Постановка проблемы.* Исходя из того, что за последние десятилетия количество аварий вертолёта Ми-8МТВ составило не один десяток, актуальной научно-практической задачей является диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Проблематикой диагностики авиационной техники в Украине занимаются ученые из Национального авиационного университета, работы которых состоят в оптимизации процессов ее технического обслуживания с помощью информационно-управляющих систем, но в их работах вопросы исследования процессов авиационных двигателей рассматриваются поверхностно.

*Постановка задачи.* Разработка математической модели исследования основных режимов работы двигателя вертолёта Ми-8МТВ при его эксплуатации в реальных режимах работы, то есть определение времени переходов из одного режима работы двигателя в другой, что позволит разработать информационно-управляющую систему диагностики и прогнозирования состояния двигателя вертолёта Ми-8МТВ.

*Изложение основного материала.* Проведён анализ особенностей эксплуатации и возможных режимов работы авиационного двигателя вертолёта Ми-8МТВ. Обоснована необходимость применения марковского процесса для контроля состояния авиационных двигателей. Разработано и предложено для дальнейшей реализации математическую модель определения и описания состояния авиационных двигателей.

*Выводы в соответствии со статьёй.* Полученные уравнения описания отказа одного из двигателей показывают, что значение  $\varphi$  зависит от интенсивности появления события, несмотря на тип процесса, что позволит применить стандартные методы построения алгоритма определения непрерывного марковского процесса при имитации работы двигателя вертолёта Ми-8МТВ.

*Ключевые слова:* система контроля состояния; авиационный двигатель вертолёта МИ-8МТВ; марковский процесс.  
Рис.: 1. Библ.: 10.

**Постановка проблемы.** Исходя из того, что за последние десятилетия количество аварий вертолёта Ми-8МТВ составило не один десяток, актуальной научно-практической задачей является диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя. В настоящее время проблематикой диагностики авиационной техники в Украине занимаются ученые из Национального авиационного университета, основные работы которых состоят в оптимизации процессов ее технического обслуживания с помощью информационно-управляющих систем [1–3]. Однако в их работах не затрагиваются вопросы исследования процессов авиационных двигателей, учет изменения которых может сказать существенное влияние на повышение качества диагностики авиационной техники.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время проблематикой диагностики авиационной техники в Украине занимаются ученые из Национального авиационного университета, основные работы которых состоят в оптимизации процессов ее технического обслуживания с помощью информационно-управляющих систем [1–4]. Однако в их работах вопросы исследования процессов авиационных двигателей рассматриваются поверхностно, при этом, учет изменения состояния которых может существенно повлиять на повышение качества диагностики авиационной техники.

**Определение неисследованных частей общей проблемы.** Таким образом, актуальной научно-практической задачей является диагностика и прогнозирование изменений состояния работы двигателя вертолёта Ми-8МТВ.

**Цель статьи.** Главной целью этой работы есть разработка математической модели исследования основных режимов работы авиационного двигателя вертолета Ми-8МТВ при его эксплуатации в реальных режимах работы, то есть определение времени переходов из одного режима работы двигателя в другой всех возможных вариантах, что позволит разработать информационно-управляющую систему диагностики и прогнозирования состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ.

**Изложение основного материала.** Учитывая тот факт, что вертолет Ми-8МТВ имеет два двигателя, считается, что вертолет Ми-8МТВ – система, имеющая надежную работу ( $P \geq 0,9$ ), которая состоит из  $i$  единиц двигателей. Пусть случайное время работы одного двигателя имеет положительное распределение вероятности и не зависит от состояния других единиц двигателей [4, 5]. В более общей математической модели работы системы, состоящей из  $i$  единиц, в которой учитывается взаимосвязь между единицами двигателей, можно считать [5], что показательное распределение имеет случайное время  $\tau_i$  совместной работы к выходу из строя одного из имеющихся единиц двигателей, то есть:

$$P\{\tau_i \leq t\} = 1 - e^{-\varphi_i t}; \tag{1}$$

где  $\varphi_0 = 0, \varphi_i > 0$  при  $i = 1, 2, \dots$

Пусть в общем случае  $P_{ij}(t)$  – вероятность наличия в момент времени  $t$  работоспособных  $j$  единиц двигателей, при условии, что в начальный момент времени  $t = 0$  было  $i$  единиц работоспособных двигателей. Первым шагом задачи диагностики и прогнозирования вероятности отказа одного из двигателей вертолета Ми-8МТВ является получение уравнения для переходных вероятностей отказа одного из двигателей вертолета Ми-8МТВ.

Разрабатываемой математической моделью является марковский процесс отказа одного из двигателей вертолета Ми-8МТВ  $\xi_t, t \in [0, \infty)$ , на множестве состояний  $N = 0, 1, 2, \dots$ , в котором переходные вероятности  $P_{ij}(t) = P\{\xi_t = j \mid \xi_0 = i\}, i, j \in N$  представлены при  $t \rightarrow 0+$  в виде [5]:

$$P_{i,i-1}(t) = \varphi_i t + o(t); \tag{2}$$

$$P_{ii}(t) = 1 - \varphi_i t + o(t). \tag{3}$$

Скачки процесса простого изменения состояний работы двигателя  $\xi_t$  представлены на рис. 1. Пусть при  $t = 0$  процесс находится в начальном состоянии  $i$ . В момент времени  $\tau_i$   $P\{\tau_i \leq t\} = 1 - e^{-\varphi_i t}$  происходит переход процесса в состояние  $i - 1$  и так далее.

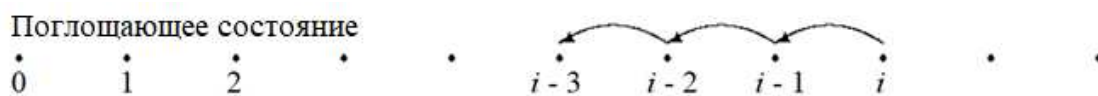


Рис. 1. График изменения состояния двигателя вертолета Ми-8МТВ

Первая (обратная) система дифференциальных уравнений Колмогорова для переходных вероятностей в случае процесса перехода двигателя вертолета Ми-8МТВ из одного состояния в другое имеет вид [5]:

$$\frac{dP_{oj}(t)}{dt} = -\varphi_0 P_{oj}(t); \tag{4}$$

$$\frac{dP_{ij}(t)}{dt} = \varphi_i P_{i-1,j}(t) - \varphi_i P_{ij}(t); \tag{5}$$

где  $i = 1, 2, \dots$  с начальными условиями  $P_{ii}(0) = 1, P_{ij}(0) = 0$  при  $i \neq j$ .

Применив оператор обобщенной производной [5], определенный на аналитических в окрестности нуля функциях, получим:

$$f(s) = \sum_{j=0}^{\infty} a_j s^j; \quad (6)$$

$$D_s(f) = \sum_{j=0}^{\infty} a_j \varphi_j s^{j-1}. \quad (7)$$

Свертывая систему с помощью производящей функции переходных вероятностей

$$G_j(t; z) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_i} P_{ij}(t); \quad (8)$$

при  $j \in N$ , имеем цепочку равенств в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dG_j}{dt} &= \sum_{i=0}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_i} \frac{dP_{ij}(t)}{dt} = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_{i-1}} \frac{dP_{i-1,j}(t)}{dt} - \sum_{i=1}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_{i-1}} \frac{dP_{ij}(t)}{dt} = \\ &= z \sum_{i=1}^{\infty} \frac{z^{i-1}}{\varphi_1 \dots \varphi_{i-1}} \frac{dP_{i-1,j}(t)}{dt} - z \sum_{i=1}^{\infty} \frac{z^{i-1}}{\varphi_1 \dots \varphi_{i-1}} \frac{dP_{ij}(t)}{dt} = zG_j - zD_z(G_j) = z(1 - D_z)G_j. \end{aligned} \quad (9)$$

Таким образом, первая система дифференциальных уравнений получает вид:

$$\frac{dG_j(t; z)}{dt} = z(1 - D_z)G_j(t; z) \quad (10)$$

с начальным условием  $G_j(0; z) = \frac{z^j}{\varphi_1 \dots \varphi_j}$ .

Вторая (прямая) система дифференциальных уравнений Колмогорова для переходных вероятностей в случае изменения состояния работы двигателя вертолета Ми-8МТВ имеет вид [5]:

$$\frac{dP_{i0}(t)}{dt} = -P_{i0}(t)\varphi_0 + P_{i1}(t)\varphi_1; \quad (11)$$

$$\frac{dP_{ij}(t)}{dt} = -P_{ij}(t)\varphi_j + P_{ij+1}(t)\varphi_{j+1}; \quad (12)$$

где  $j = 1, 2, \dots$  с начальными условиями  $P_{ii}(0) = 1, P_{ij}(0) = 0$  при  $i \neq j$ .

Свертывая систему с помощью производящей функции переходных вероятностей

$$F_i(t; s) = \sum_{j=0}^{\infty} P_{ij}(t) s^j; \quad (13)$$

при  $j \in N, |s| \leq 1$ , имеем цепочку равенств в виде:

$$\begin{aligned} \frac{dF_i}{dt} &= \sum_{j=0}^{\infty} \frac{dP_{ij}(t)}{dt} s^j = -\sum_{j=0}^{\infty} P_{ij}(t)\varphi_j s^j + \sum_{j=0}^{\infty} P_{i,j+1}(t)\varphi_{j+1} s^j = -s \sum_{j=1}^{\infty} P_{ij}(t)\varphi_j s^{j-1} + \\ &+ \sum_{j=1}^{\infty} P_{ij}(t)\varphi_j s^{j-1} = -sD_s(F_i) + D_s(F_i) = -(s+1)D_s(F_i). \end{aligned} \quad (14)$$

Вторая система дифференциальных уравнений получает вид:

$$\frac{dF_i}{dt} = -(s+1)D_s(F_i) \quad (15)$$

с начальным условием  $F_i(0; s) = s^i$ .

Соответственно, двойная производящая функция

$$F(t; z; s) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_i} F_i(t; s) = \sum_{i,j=0}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_i} P_{ij}(t) s^j = \sum_{i,j=0}^{\infty} G_j(t; z) s^j \quad (16)$$

удовлетворяет уравнениям:

$$\frac{dF}{dt} = z(1 - D_z)F; \quad (17)$$

$$\frac{dF}{dt} = (1 - s)D_s(F) \quad (18)$$

с начальным условием  $F(0; z; s) = e(zs)$ .

Функция  $e(z)$ , определенная равенством [6]

$$e(z) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{z^i}{\varphi_1 \dots \varphi_i}; \quad (19)$$

является собственной функцией оператора обобщенной производной  $D_z$ , то есть:

$$D_z(e(z)) = e(z). \quad (20)$$

Применим известные выражения переходных вероятностей [5] для математического описания процесса полного отказа двигателя вертолета Ми-8МТВ:

$$P_{ij}(t) = \varphi_i \dots \varphi_{j+1} \sum_{n=j}^i \frac{e^{-\varphi_n t}}{(\varphi_1 - \varphi_n)(\varphi_{n+1} - \varphi_n)(\varphi_{n-1} - \varphi_n) \dots (\varphi_j - \varphi_n)}; \quad (21)$$

при  $j < i$ , применив которые, легко получить решения уравнений (17) и (18) в виде ряда с разделенными переменными:

$$F(t; z; s) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{\varphi_1 \dots \varphi_i} \overline{C}_n(z) C_n(s) e^{-\varphi_n t}; \quad (22)$$

где

$$\overline{C}_n(z) = z^n + \sum_{k=1}^{\infty} \frac{z^{n+k}}{(\varphi_{n+1} - \varphi_n) \dots (\varphi_{n+k} - \varphi_n)}; \quad (23)$$

$$C_n(s) = s^n + \sum_{k=0}^{n-1} \frac{\varphi_{k+1} \dots \varphi_n}{(\varphi_k - \varphi_n) \dots (\varphi_{n-1} - \varphi_n)}. \quad (24)$$

При  $\varphi_{i+1} > \varphi_i$ ,  $i \in N$ , и  $\lim_{i \rightarrow \infty} \varphi_i = \infty$  ряд (22) абсолютно сходится при любых значениях  $z$ ,  $|s| < 1$  и  $t \in [0, \infty)$ . При  $t = 0$  получаем разложение обобщенной экспоненты (3.19):

$$e(zs) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{\varphi_1 \dots \varphi_n} \overline{C}_n(z) C_n(s). \quad (25)$$

Для процесса отказа двигателя как функции линейного типа, когда  $(\lambda > 0)$ , то есть  $\varphi_i = i\lambda$ , оператор обобщенной производной совпадает с обычной производной и имеет вид:

$$D_z \lambda = \frac{d}{ds}. \quad (26)$$

В результате уравнения (17) и (18) принимают вид:

$$\frac{dF}{dt} = \lambda z \left( 1 - \frac{d^2 F}{dz^2} \right); \quad (27)$$

$$\frac{dF}{dt} = \lambda(1-s) \frac{dF}{ds}; \quad (28)$$

с начальным условием  $F(0; z; s) = e^{zs}$ . Тогда выражения (22) и (25) принимают вид:

$$F(t; z; s) = \sum_{i=0}^{\infty} \frac{\left(\frac{z}{\lambda}\right)^i}{i!} e^{\frac{z}{\lambda}} (s-1)^i e^{-\lambda t}; \quad (29)$$

$$e(zs) = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{z^n}{n!} e^z (s-1)^n. \quad (30)$$

Суммируя ряд (29), приходим к замкнутому выражению для двойной производящей функции

$$F(t; z; s) = e^{\frac{z}{\lambda}(1+(s-1)e^{-\lambda t})}. \quad (31)$$

Отсюда и из определения  $F(t; z, s)$  получаем:

$$F_i(t; s) = (1 - e^{-\lambda t} + se^{-\lambda t})^i; \quad (32)$$

при  $i \in N$ .

Соотношение (32) означает, что случайные времена работы каждого из имеющихся  $i$  единиц двигателей не зависят друг от друга; такое свойство независимости имеет место только для процесса линейного типа.

Для приложений в математической теории надежности [4, 5] представляет интерес нахождение аналогичного (32) замкнутого интегрального представления для производящей функции  $F_i(t; s)$ , как решения уравнений Колмогорова (17) и (18) для процесса отказа одного из двигателей (путем суммирования ряда Фурье (22)), при частных предположениях о функции  $\varphi_i = \varphi(i)$  [7–10].

В случае процесса квадратичного типа полагается, что

$$\varphi_i = i(i-1)\lambda. \quad (33)$$

Тогда при

$$D_s = \lambda s \frac{d^2}{ds^2}; \quad (34)$$

имеем систему уравнений:

$$\frac{dF}{dt} = \lambda z^2 \left( \frac{dF}{dz} - \frac{d^2 F}{dz^2} \right); \quad (35)$$

$$\frac{dF}{dt} = \lambda (s - s^2) \frac{d^2 F}{ds^2}; \quad (36)$$

с начальным условием  $F(0; z; s) = e^{zs}$ .

В случае процесса полиномиального типа полагают

$$\varphi_i = i(i-1)\dots(i-k+1)\lambda; \quad (37)$$

где  $k = 3, 4, \dots$

Тогда

$$\frac{dF}{dt} = \lambda z^k \left( \frac{d^{k-1} F}{dz^{k-1}} - \frac{d^k F}{dz^k} \right); \quad (38)$$

$$\frac{dF}{dt} = \lambda (s^{k-1} - s^k) \frac{d^k F}{ds^k}; \quad (39)$$

с начальным условием  $F(0; z; s) = e^{zs}$ .

Замечание. Поскольку вертолет Ми-8МТВ имеет два двигателя ТВЗ-117, то процесс полиномиального типа сводится процессу квадратичного типа вследствие того, что показатель степени  $k$  может принимать лишь значение 2 [5].

В случае процесса степенного типа полагается, что:

$$\varphi_i = i^\rho \lambda; \quad (40)$$

где  $0 < \rho < 1$ .

В случае процесса пуассоновского типа полагается, что

$$\varphi_0 = 0; \varphi_i = \lambda; \quad (41)$$

где  $i = 1, 2, \dots$ ,  
тогда

$$D_s(f) = \lambda \frac{f(s) - f(0)}{s}. \quad (42)$$

**Выводы и предложения.** Таким образом, полученные уравнения описания отказа одного из двигателей показывают, что значение  $\varphi_i$  зависит от интенсивности появления события  $\lambda$ , несмотря на тип процесса (квадратичный, полиномиальный, степенной или пуассоновский), что позволит применить стандартные методы построения алгоритма определения непрерывного марковского процесса при имитации работы двигателя вертолета Ми-8МТВ.

#### Список использованных источников

1. *Інформаційні технології забезпечення конструктивно-експлуатаційних властивостей повітряних суден та авіаційних двигунів* / С. О. Дмитрієв, О. В. Попов, Д. В. Попов, Г. О. Арістов // Вестник двигателестроения. – 2015. – № 2. – С. 67–72.
2. *Формування програм технічного обслуговування авіаційних двигунів* / С. О. Дмитрієв, В. І. Бурлаков, О. В. Попов, Д. В. Попов // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2013. – № 7 (104). – С. 190–194.
3. *Формалізація процедур та визначення оптимальних програм технічного обслуговування повітряних суден та авіаційних двигунів* / С. О. Дмитрієв, В. І. Бурлаков, О. В. Попов, Д. В. Попов // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2014. – № 9 (116). – С. 177–181.
4. *Деревянко И. Г.* Конструкция и эксплуатация вертолета Ми-8МТВ-1 / И. Г. Деревянко. – Кременчуг : КЛК НАУ, 2011. – 142 с.
5. *Острейковский В. А.* Теория надежности / В. А. Острейковский. – М. : Абрис, 2012. – 463 с.
6. *Тимонин В. И.* Точные распределения статистик типа Колмогорова-Смирнова, применяемых для анализа остаточной надежности резервированных систем / В. И. Тимонин, М. А. Ермолаева // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2012. – Вып. 10. – С. 66–72.
7. *Калинкин А. В.* Уравнения марковского процесса гибели в математической теории надежности [Электронный ресурс] / А. В. Калинкин // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 14. – Режим доступа : <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/1150.html>.
8. *Input Current Parameters Analysis for PFC based on Quasi-Resonant and Conventional Boost* / Denisov Y. O., Stepenko S. A., Gorodny A. N., Kravchenko V. A. // International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE, 2014. – P. 393–397.
9. *Switch operation power losses of quasi-resonant pulse converter with parallel resonant circuit* / Denisov Y., Gorodny A., Gordienko V., Yershov R., Stepenko S., Kostyrieva O., Prokhorova A. // International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE, 2016. – P. 327–332.
10. *Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies* / Gorodny O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017. – P. 232–235.



## References

1. Dmitriev, S. O., Popov, O. V., Popov, D. V. & Aristov, G. O. (2015). Informatsiini tekhnolohii zabezpechennia konstruktyvno-eksploatatsiinykh vlastyvoستي povitrianykh suden ta aviatsiinykh dvyhunyiv [Information technologies for maintenance of structural and operational properties of flying ships and aviation engines]. *Vestnik dvigatelestroeniia – Herald of engine building*, 2, 67–72 [in Ukrainian].
2. Dmitriev, S. O., Burlakov, V. I., Popov, O. V. & Popov, D. V. (2013). Formuvannia program tehničnogo obsluhovuvannia aviatsiinykh dvyhunyiv [Formation of aviation engine maintenance programs]. *Aviatsionno-kosmicheskaia tehnika i tehnologii – Aerospace Engineering and Technology*, 7 (104), 190–194 [in Ukrainian].
3. Dmitriev, S. O., Burlakov, V. I., Popov, O. V. & Popov, D. V. (2013). Formalizatsiia procedur ta vyznachennia optymalnykh program tehničnogo obsluhovuvannia povitrianykh suden ta aviatsiinykh dvyhunyiv [Formalization of procedures and definition of optimal maintenance programs for aircraft and aviation engines]. *Aviatsionno-kosmicheskaia tehnika i tehnologii – Aerospace Engineering and Technology*, 9 (116), 177–181 [in Ukrainian].
4. Derevianko, I. G. (2011). *Konstrukttsiia i eksploatatsiia verতোleta Mi-8MTV-1 [The design and operation of the Mi-8MTV-1 helicopter]*. Kremenčug: KLK NAU [in Russian].
5. Ostreikovskii, V. A. (2012). *Teoriia nadezhnosti [Theory of reliability]*. Moscow: Arbis [in Russian].
6. Timonin, V. I. & Ermolaeva, M. A. (2012). Tochnye raspredeleniia statistik tipa Kolmogorova-Smirnova, primeniaemykh dlia analiza ostatochnoi nadezhnosti rezervirovannykh sistem [Exact distributions of Kolmogorov-Smirnov statistics used to analyze the residual reliability of redundant systems]. *Elektromagnitnye volny i elektronnye sistemy – Electromagnetic waves and electronic systems*, 10, 67–72 [in Russian].
7. Kalinkin, A. V. (2013). *Uravneniia markovskogo protsessu gibeli v matematicheskoi teorii nadezhnosti [Equations of the Markov process of decay in the mathematical theory of reliability]*. Retrieved from <http://engjournal.ru/catalog/appmath/hidden/1150.html>.
8. Denisov, Y. O., Stepenko, S. A., Gorodny, A. N. & Kravchenko, V. A. (2014). *Input Current Parameters Analysis for PFC based on Quasi-Resonant and Conventional Boost*, International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE [in English].
9. Denisov, Y., Gorodny, A., Gordienko, V., Yershov, R., Stepenko, S., Kostyrieva, O., Prokhorova, A. (2016). *Switch operation power losses of quasi-resonant pulse converter with parallel resonant circuit*, International Scientific Conference on Electronics and Nanotechnology(ELNANO): Thirty-Fourth Annual IEEE [in English].
10. Gorodny, O., Gordienko, V., Stepenko, S., Boyko, S. & Sereda, O. (2017). *Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies, Modern Electrical and Energy Systems (MEES)* [in English].

UDC 629.735

*Serhii Vladov, Serhii Boiko, Oleksiy Gorodny, Iana Klimova, Leonid Vershniak*

### APPLICATION OF THE MARKOV PROCESS EQUATIONS WITH DIAGNOSTIC OF THE STATE OF THE MI-8MTV HELICOPTER AIRCRAFT AT ITS OPERATION IN REAL OPERATION MODES

**Urgency of the research.** Operation of the Mi-8MTV helicopter continues not only in Ukraine, but also in other countries of the world. Thus, the actual scientific and practical task is to diagnose and predict the changes in the operating state of the Mi-8MTV helicopter engine.

**Target setting.** Proceeding from the fact that during the last decades the number of accidents of the Mi-8MTV helicopter amounted to several tens, an actual scientific and practical task is diagnostics and prediction of changes in the state of engine operation.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The problems of aircraft engineering diagnostics in Ukraine are dealt with by scientists from the National Aviation University, whose work consists in optimizing the processes of its maintenance with the help of information and control systems, but in their works the issues of studying the processes of aircraft engines are treated superficially.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The investigation of the main modes of operation of the Mi-8MTV helicopter engine during its operation in real operating modes, that is, the determination of the time of transitions from one mode of operation of the engine to another, which will enable the development of information management system for diagnosing and forecasting the state of the engine of the Mi-8MTV helicopter.

**The research objective.** Development of a mathematical model for studying the main modes of operation of the Mi-8MTV helicopter engine during its operation in real operating modes.

**The statement of basic materials.** The analysis of operation peculiarities and possible operating modes of the aircraft engine of the Mi-8MTV helicopter is carried out. The necessity of application of the Markov process for monitoring the state of aircraft engines is substantiated. A mathematical model for the definition and description of the state of aircraft engines has been developed and proposed for further implementation.

**Conclusions.** The resulting equations describing the failure of one of the engines show that the value of  $\varphi_i$  depends on the occurrence rate of the event, despite the type of process, which will allow us to apply standard methods for constructing an algorithm for determining the continuous Markov process when simulating the operation of the Mi-8MTV helicopter engine.

**Keywords:** state monitoring system; aircraft engine of the helicopter MI-8MTV; the markov process.

Fig.: 1. References: 10.

УДК 629.735

Сергій Владов, Сергій Бойко, Олексій Городній, Яна Клімова, Леонід Вершняк

## ЗАСТОСУВАННЯ РІВНЯНЬ МАРКІВСЬКОГО ПРОЦЕСУ ПРИ ДІАГНОСТИЦІ СТАНУ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА ГВИНТОКРИЛА МІ-8МТВ ПРИ ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЇ В РЕАЛЬНИХ РЕЖИМАХ РОБОТИ

**Актуальність теми дослідження.** Експлуатація вертольота Мі-8МТВ триває не тільки в Україні, але й в інших країнах світу. Таким чином, актуальною науково-практичною задачею є діагностика та прогнозування змін стану роботи двигуна вертольота Мі-8МТВ.

**Постановка проблеми.** З огляду на те, що за останні десятиліття кількість аварій вертольота Мі-8МТВ становило не один десяток, актуальним науково-практичним завданням є діагностика і прогнозування змін стану роботи двигуна.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематикою діагностики авіаційної техніки в Україні займаються вчені з Національного авіаційного університету, роботи яких складаються в оптимізації процесів її технічного обслуговування за допомогою інформаційно-керуючих систем, але в їхній роботі питання дослідження процесів авіаційних двигунів розглядаються поверхово.

**Постановка завдання.** Розробка математичної моделі дослідження основних режимів роботи двигуна вертольота Мі-8МТВ при його експлуатації в реальних режимах роботи, тобто визначення часу переходів з одного режиму роботи двигуна в інший, що дозволить розробити інформаційно-керуючу систему діагностики та прогнозування стану двигуна вертольота Мі-8МТВ.

**Виклад основного матеріалу.** Проведено аналіз особливостей експлуатації і можливих режимів роботи авіаційного двигуна вертольота Мі-8МТВ. Обґрунтовано необхідність застосування марковського процесу для контролю стану авіаційних двигунів. Розроблено та запропоновано для подальшої реалізації математичну модель визначення й опису стану авіаційних двигунів.

**Висновки відповідно до статті.** Отримані рівняння опису відмови одного з двигунів показують, що значення  $\varphi_i$  залежить від інтенсивності появи події, незважаючи на тип процесу, що дозволить застосувати стандартні методи побудови алгоритму визначення безперервного марківського процесу при імітації роботи двигуна вертольота Мі-8МТВ.

**Ключові слова:** система контролю стану; авіаційний двигун гвинтокрила Мі-8МТВ; марківський процес.

Рис.: 1. Бібл.: 10.

**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).

**Владов Сергій Ігорович** – кандидат технічних наук, завідувач навчально-методичної лабораторії, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчугський льотний колледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**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., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

**E-mail:** nml.nv.klknau@gmail.com

**Бойко Сергей Николаевич** – кандидат технических наук, преподаватель кафедры энергообеспечения и систем управления, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета (ул. Победы, 17/6, г. Кременчуг, 39605, Украина).

**Бойко Сергій Миколайович** – кандидат технічних наук, викладач кафедри енергозабезпечення і систем управління, Кременчугський льотний колледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Boiko Serhii** – PhD in Technical Sciences, 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:** bsn1987@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

**Городний Алексей Николаевич** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Городній Олексій Миколайович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**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

**Климова Яна Руслановна** – преподаватель цикловой комиссии конструкции и эксплуатации воздушных судов и авиадвигателей, Кременчугский летный колледж Национального авиационного университета (ул. Победы, 17/6, г. Кременчуг, 39605, Украина).

**Клімова Яна Русланівна** – викладач циклової комісії конструкції та експлуатації повітряних суден і авіадвигунів, Кременчуцький льотний коледж Національного авіаційного університету (вул. Перемоги, 17/6, м. Кременчук, 39605, Україна).

**Klimova Iana** – teacher of the Department of Design and Operation of Aircraft and Aircraft Engines, Kremenchuk Flight Col-lege of National Aviation University (17/6 Peremohy Str., 39605 Kremenchuk, Ukraine).

**E-mail:** nml.nv.klknau@gmail.com

**Вершняк Леонид Владимирович** – аспирант, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Вершняк Леонід Володимирович** – аспірант, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Vershniak Leonid** – Phd student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** L\_Vershnyak@mail.ru

*Сергій Яценко, Володимир Войтенко, Роман Єршов*

## РЕАЛІЗАЦІЯ БЛОКА ПРОСТОРОВО-ВЕКТОРНОЇ ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ У СКЛАДІ КОНТРОЛЕРА ІНДУКЦІЙНОГО ДВИГУНА НА БАЗІ ПЛІС

**Актуальність теми дослідження.** Вдосконалення електромобілів і громадського електротранспорту відбувається за рахунок переходу на електричні тягові установки прямого частотно-керованого привода на основі індукційного двигуна із короткозамкненим ротором та векторною системою керування.

**Постановка проблеми.** Якість роботи обмежує швидкодія цифрової системи керування, яка має виконувати велику кількість складних обчислень над векторами.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У рішеннях на основі сигнальних мікроконтролерів із вбудованими апаратними модулями максимальна частота ШІМ обмежена архітектурою процесора послідовної дії. У структурах з використанням ПЛІС функції координатних перетворень реалізовано на основі логічних і арифметичних субблоків, які в результаті синтезу займають надмірний обсяг ресурсів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більш ефективне рішення – із визначенням тригонометричних функцій табличним методом з перемиканням базових векторів за допомогою окремого детермінованого цифрового автомата.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є розробка алгоритмів побудови блоку просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції у складі контролера індукційного двигуна на базі ПЛІС і реалізація окремих складових із використанням мови опису апаратури VHDL.

**Виклад основного матеріалу.** Запропонована структура та алгоритм функціонування блоку у складі відслідковувача сектора векторної модуляції, детермінованого автомата векторної модуляції, реверсивного лічильника, таблиці відліків функції синуса, двоканального ШІ-модулятора, блоку розподілу сигналів модуляції. Усі блоки описано на VHDL і об'єднано у глобальну сутність. На часових діаграмах вихідних сигналів векторного модулятора присутнє заповнення ШІМ-сигналом, який промодульовано за синусоїдальним законом.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено новий алгоритм побудови гнучкого блоку просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції у складі контролера індукційного двигуна на базі структур змінної розрядності в ПЛІС.

**Ключові слова:** ПЛІС; VHDL; цифровий дизайн; просторово-векторна широтно-імпульсна модуляція (ПВШІМ); індукційний двигун; векторне керування; прямий (безредукторний) електропривод.

*Рис.: 11. Бібл.: 13.*

**Актуальність теми дослідження.** Розвиток енергоефективних технологій суттєво вплинув на реалізацію систем електромеханічного руху, застосовуваних у різних сферах людської діяльності. Так, все більшої популярності набувають електрокари, а традиційні системи електроприводу сучасного громадського транспорту вдосконалюються завдяки переходу на електричні тягові установки прямого (безредукторного) привода [1; 2]. В основі розвитку лежить винахід і поширення частотно-керованого електропривода на базі індукційного двигуна (ІД) із короткозамкненим ротором [3]. Поєднання ІД із векторною системою керування надає суттєвих переваг у випадку прецизійного регулювання моменту на валу двигуна у широкому діапазоні швидкостей обертання [4]. Основною проблемою в подібних системах є питання якості та ефективності процесу векторного регулювання, які майже повністю залежать від швидкодії цифрової системи керування. Остання тут виконує величезну кількість складних обчислень над векторами за одиницю часу (прямі й обернені перетворення Парка і Кларк і т. ін. [5]). Також присутні математичні операції над числами із плаваючою комою у таких обчислювальних блоках, як регулятори струмів, спостерігачі потокозчеплення і моменту.

**Постановка проблеми.** Відомі рішення усіх перелічених вище задач за допомогою сигнальних мікроконтролерів із вбудованими апаратними модулями широтно-імпульсних модуляторів (ШІМ) та аналого-цифрових перетворювачів (АЦП) [6]. Проте максимальна частота ШІМ у цьому разі обмежена архітектурою процесора, який є пристроєм послідовної дії. Збільшення частоти ШІМ змушує підвищувати й частоту вибірки АЦП у колі зворотного зв'язку, що скорочує інтервал часу для виконання обчислень, а отже, різко погіршує якість системи векторного керування ІД. Можливим вирішенням проблеми покращення динамічних характеристик електроприводу може стати застосування ПЛІС для розробки спеціалізованого контролера векторного керування ІД [7]. Такий контролер

© Яценко С. І., Войтенко В. П., Єршов Р. Д., 2018

являє собою високопродуктивний обчислювальний комплекс, який складається зі швидкокодуючих модулів цифрової обробки сигналів, а також АЦП, і забезпечує суттєвий паралелізм та конвеєризацію обчислень. У підсумку це дозволяє реалізувати високоефективний апаратний модуль просторово-векторної ШІМ, що працюватиме на частотах у десятки-сотні кілогерц. Швидкокодуючий модуль ПВШІМ у складі контролера ІД на базі ПЛІС забезпечить надійний контроль режимів роботи силових ключів трифазного інвертора, що значно покращить динамічні характеристики електропривода в цілому, мінімізуючи кількість перемикачів ключів на періоді векторної модуляції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Особливостям імплементації блоку просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції в ПЛІС присвячено багато досліджень, які стосуються реалізації як систем керування трифазними інверторами напруги [8; 9], так і систем керування ІД [10; 11]. Зазвичай пропонуються структури блоків ПВШІМ, в яких функції координатних перетворень реалізовано на основі суматорів, компараторів і зсувних регістрів. Також у цих структурах присутні блоки синусно-косинусних перетворень; розрахунку шпаруватостей; лічильник «мертвого часу»; схема синхронізації; блок спостерігача сектору модуляції й окремий модуль ШІМ.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз відомих реалізацій блоків ПВШІМ показує присутність значної кількості арифметичних субблоків, які в результаті синтезу займатимуть надмірний обсяг ресурсів ПЛІС. Значно ефективніше побудувати блок ПВШІМ так, щоб значення тригонометричних функцій визначалися табличним методом, а модуль векторної модуляції, що перемикає базові вектори, було реалізовано у вигляді окремого детермінованого цифрового автомата. Вихідні сигнали блока ПВШІМ у цьому випадку формуватимуться в результаті підмішування відповідних ШІ-промодульованих сигналів тригонометричних функцій до вектора, який знаходиться у певному секторі модуляції.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка алгоритмів реалізації блока просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції у складі контролера індукційного двигуна на базі ПЛІС, а також схемотехнічних рішень складових блока ПВШІМ із використанням мови опису апаратури VHDL.

**Виклад основного матеріалу.** Структуру блока просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції для подальшого синтезу в ПЛІС наведено на рис. 1.

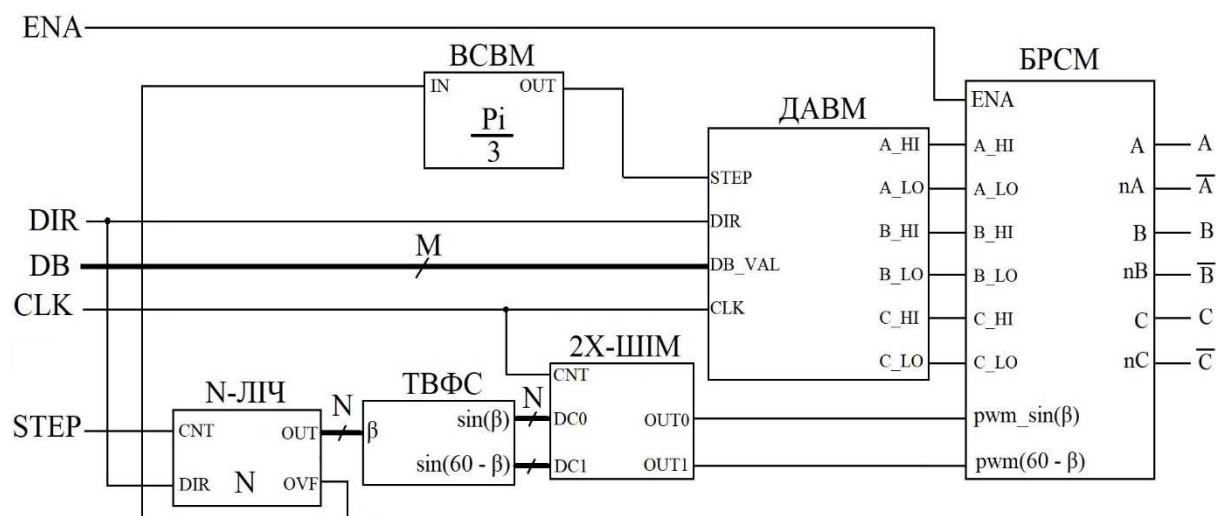


Рис. 1. Структурна схема блока ПВШІМ для синтезу в ПЛІС

Блок ПВШІМ містить у собі такі субблоки:

**BCVM** – відслідковувач сектору векторної модуляції; **DAVM** – детермінований автомат векторної модуляції; **N-ЛІЧ** –  $N$ -розрядний реверсивний двійковий лічильник;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*ТВФС* – таблиця відліків функції синуса; *2X-ШИМ* – двоканальний широтно-імпульсний модулятор; *БРСМ* – блок розподілу сигналів ШІ-модуляції на відповідні ключі.

Вхідними сигналами модуля ПВШІМ є:

*ENA* – сигнал дозволу роботи ключів силового інвертора (цей вхід може використовуватися для подання ШІМ-сигналу від регулятора струму); *DIR* – сигнал, що визначає напрям обертання вектора просторової модуляції, а також напрям рахунку лічильника *N-ЛІЧ* та перемикавня автомата ДАВМ; *DB* – *M*-розрядна шина, сигнал для завдання значення «мертвого часу» у тактах сигналу системного тактування (*CLK*); *STEP* – сигнал тактування лічильника блока *N-ЛІЧ*. На виході блока ПВШІМ знаходяться прямі та інверсні сигнали для керування ключами трифазного інвертора.

Для спрощення на структурній схемі в повному обсязі не показано сигнали скидання *nRST* і системного тактування *CLK*, які розповсюджено і підключено до кожного з блоків схеми ПВШІМ.

Розглянемо алгоритм функціонування блока ПВШІМ. На входи *DC0*, *DC1* двоканального модуля ШІМ подаються два відліки функції синуса кута  $\beta$ :  $\sin(\beta)$  і  $\sin(60 - \beta)$ . Вихідне значення лічильника *N-ЛІЧ* формує адресу (кут  $\beta$ ) вибірки з відповідним значенням функції у ТВФС. Вихідний сигнал ТВФС є шпаруватістю ШІМ для проміжного положення вектора. Також від сигналу *OVF* блока *N-ЛІЧ* тактується блок *ВСВМ*, який спостерігає за положенням вектора й перемикає ДАВМ на наступний сектор модуляції. Як тільки всі відліки із чергового сектору в  $60^\circ$  вичерпано, генерується сигнал тактування *STEP* на вході модуля ДАВМ. Прямі та інверсні сигнали керування ключами трифазного інвертора формуються блоком розподілу сигналів модуляції (*БРСМ*). Цей блок веде спостереження за поточним вектором модуляції, що надходить від ДАВМ. Залежно від поточного вектора модуляції *БРСМ* подає на відповідні дві фази синусоїдальне ШІМ-заповнення від блока *2X-ШИМ*, таким чином формуючи заданий вектор на основі базових у кожному секторі векторної модуляції.

Реалізація детермінованого автомата векторної модуляції виконана мовою VHDL. Модуль ДАВМ вирішує задачу формування шести базових і двох нульових векторів просторово-векторної модуляції (рис. 2 [12]). Значення «1» у кожному векторі модуляції відповідає відкритому верхньому ключу в плечі певної фази силового інвертора, при цьому нижній ключ закритий; «0» – верхній ключ закритий і відкрито нижній.

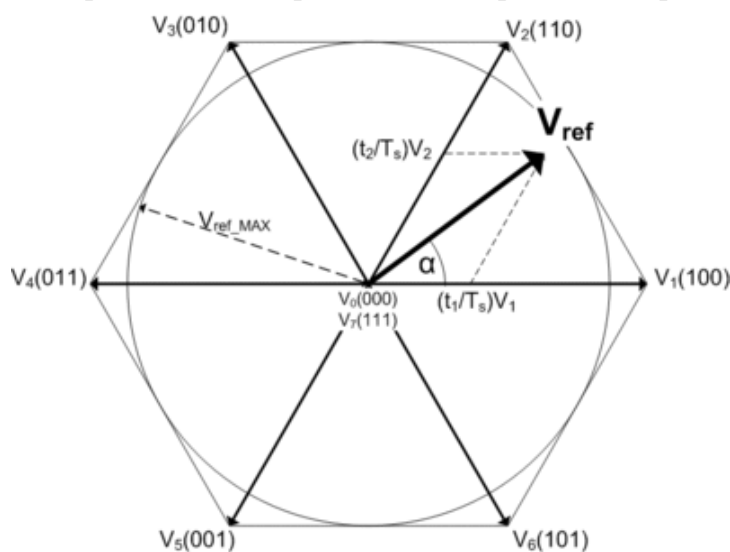


Рис. 2. Діаграма просторово-векторної модуляції

На рис. 3 показано синтезований блок ДАВМ у схемному редакторі пакету САПР *Quartus 15.1*.

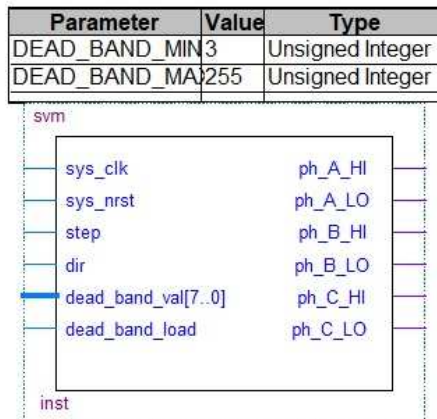


Рис. 3. Синтезований блок детермінованого автомата векторної модуляції

Блок ДАВМ описано на VHDL із використанням стандартного підходу до опису автоматів на основі послідовного оператора **case exp is ... when i => act\_i(); ... end case**. Цей оператор реалізує алгоритм переключення векторів за переднім фронтом сигналу *step* у напрямку, який задає сигнал на вході *dir* модуля ДАВМ. У момент подачі логічного «0» на вхід *sys\_nrst* відбувається скидання схеми ДАВМ і встановлення вихідних сигналів у рівні, що відповідають нульовому вектору, з якого потім і починається процес модуляції. Детектування всіх вхідних сигналів синхронізовано сигналом системного тактування *sys\_clk* за переднім фронтом. Мінімальне та максимальне значення величини «мертвого часу» (у тактах сигналу *sys\_clk*) задається користувачем на етапі синтезу за допомогою констант *DEAD\_BAND\_MIN* і *DEAD\_BAND\_MAX*, відповідно. Ці значення є реконфігурованими константами оператора **generic(const1; const2; ...)**. «Мертвий час» можна змінювати під час роботи схеми, подавши нове значення на шину *dead\_band\_val* за переднім фронтом сигналу завантаження *dead\_band\_load*. За замовчуванням дане значення не може бути меншим, ніж *DEAD\_BAND\_MIN*. Розрядність шини *dead\_band\_val* розраховується автоматично на етапі синтезу, як логарифм за основою два від значення *DEAD\_BAND\_MAX*:

```
dead_band_val : in std_logic_vector(log2(DEAD_BAND_MAX)-1 downto 0).
```

Запуск лічильника «мертвого часу» відбувається одразу після переходу автомата у наступний стан. Спочатку вимикається ключ (верхній або нижній, залежно від наступного вектора). Потім настає очікування, доки лічильник не дорахує до заданого значення на шині *dead\_band\_val*. І тільки після цього відкривається протилежний ключ у поточній фазі. На рис. 4 зображено часові діаграми роботи блоку ДАВМ. Можна детально побачити, як відбувається формування «мертвого часу», тобто різниці у тактах сигналу *sys\_clk* між сигналами, що керують верхнім та нижнім ключами в одному плечі силового інвертора. Допоки лічильник ДАВМ не вирахує значення *dead\_band\_val*, входи *step* і *dir* не чутливі до зміни сигналу.

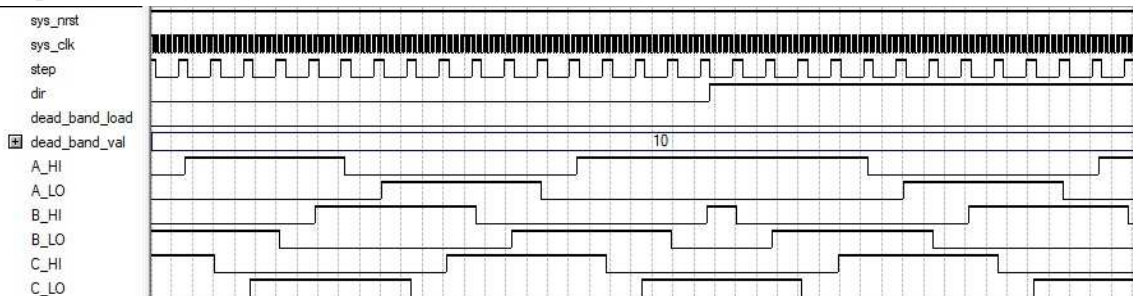


Рис. 4. Часові діаграми роботи блоку ДАВМ

Блок таблиці відліків функції синуса (рис. 5) описано на VHDL, як ROM. Розрядність даних пам'яті (*N* на рис. 1) задає користувач за допомогою константи *SINE\_RESOLUTION* в розділі **generic(const1; const2; ...)** на етапі синтезу.

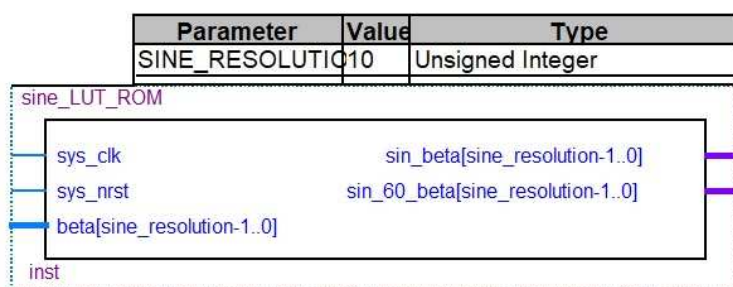


Рис. 5. Блок ROM із відліками функції синуса ( $SINE\_RESOLUTION = 10$ )

Для економії ресурсів ПЛІС автоматично створюється така кількість  $M$  чарунок  $N$ -розрядної пам'яті, в якій зберігається лише одна чверть періоду ( $\pi/2$ ) функції:

$$M = 2^{SINE\_RESOLUTION - 2}$$

Для створення константи, в якій зберігатимуться відліки чверті періоду функції синуса, у свою чергу, створено новий тип *LUT*:

```
type LUT is array (0 to 2**(SINE_RESOLUTION-2)-1)
of std_logic_vector (SINE_RESOLUTION-1 downto 0).
```

Відліки функції зберігаються у константі типу *LUT*:

```
constant sine_LUT: LUT := LUT_generation,
```

де *LUT\_generation* – це функція, яка повертає новостворений на етапі синтезу масив типу *LUT* із відліками.

Щоб мати можливість сформувати заданий вектор  $U_3$  довжиною 1, який знаходиться під кутом  $\beta$  у одному із секторів векторної модуляції, необхідно його розкласти на базові вектори  $U_{\beta 1}$  і  $U_{\beta 2}$ . Тому в цій таблиці зберігаються значення функції синуса, які відповідають наступним формулам ( $\beta$  – кут між  $U_3$  і  $U_{\beta 1}$ ):

$$U_{\beta 1} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sin(60 - \beta), \tag{1}$$

$$U_{\beta 2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sin(\beta). \tag{2}$$

Виразу (1) відповідає вихідна шина *sin\_60\_beta*, а виразу (2) – *sin\_beta* блока *TBΦC*.

Генерація масиву відліків відбувається за допомогою ітераційного алгоритму, що виконує квантування функції синуса відповідно до заданої користувачем розрядності [13]. Вибірку кута  $\beta$  (адресацію до чарунок пам'яті, в якій розміщено лише чверть періоду функції) реалізовано на *VHDL* таким чином (приклад для вихідної шини *sin\_beta*):

```
uint_beta <= to_integer(unsigned(beta));
if uint_beta > 2**(SINE_RESOLUTION-2)-1 then
  if uint_beta > 2**(SINE_RESOLUTION-1)-1 then
    if uint_beta > (2**(SINE_RESOLUTION-2)-1) +
      2**(SINE_RESOLUTION-1)
    then
      sin_beta <= not sine_LUT((2**(SINE_RESOLUTION-2)-1) -
        uint_beta);
    else
      sin_beta <= not sine_LUT(uint_beta);
    end if;
  else
    sin_beta <= sine_LUT((2**(SINE_RESOLUTION-2)-1) - uint_beta);
  end if;
else
  sin_beta <= sine_LUT(uint_beta);
end if;
```



На рис. 6 показано часові діаграми роботи блока *ТВФС*.

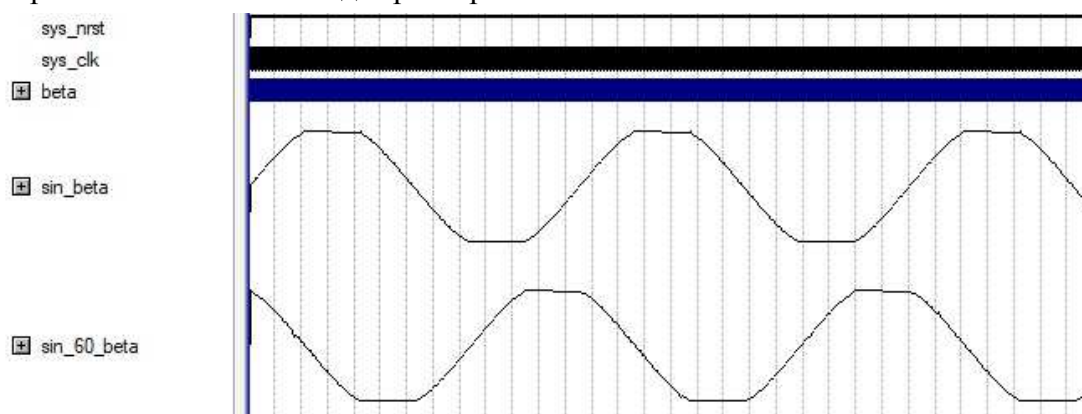


Рис. 6. Часові діаграми роботи блока *ТВФС*

Двоканальний блок ШІМ містить у своєму складі *N*-розрядний реверсивний лічильник і три регістри для завантаження значення шпаруватості. ШІМ-сигнал формується за рахунок синхронного компаратора, який порівнює значення, що зберігається в регістрах, із поточним значенням у лічильнику. Двоканальний блок ШІМ зображено на рис. 7.

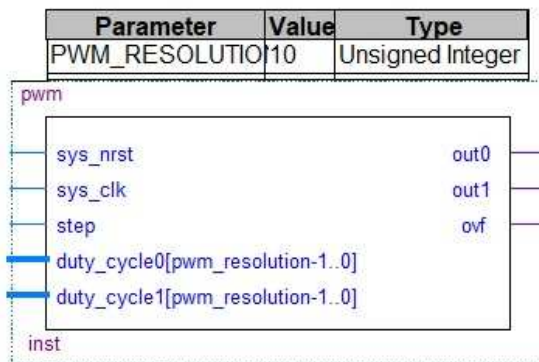


Рис. 7. Двоканальний блок ШІМ ( $PWM\_RESOLUTION = 10$ )

Розрядність ШІМ сигналу налаштовується на етапі синтезу за допомогою константи *PWM\_RESOLUTION*. Залежно від її величини буде синтезовано регістри, входні шини і лічильник відповідної розрядності. Лічильник тактується від сигналу на вході *STEP*, що синхронізовано за сигналом системного тактування *sys\_clk*. Завантаження значення шпаруватості відбувається до шин *duty\_cycle0*, *duty\_cycle1*. У цьому випадку реалізовано ШІМ із центральним вирівнюванням сигналу. На рис. 8 показано часові діаграми роботи двоканального блока ШІМ.

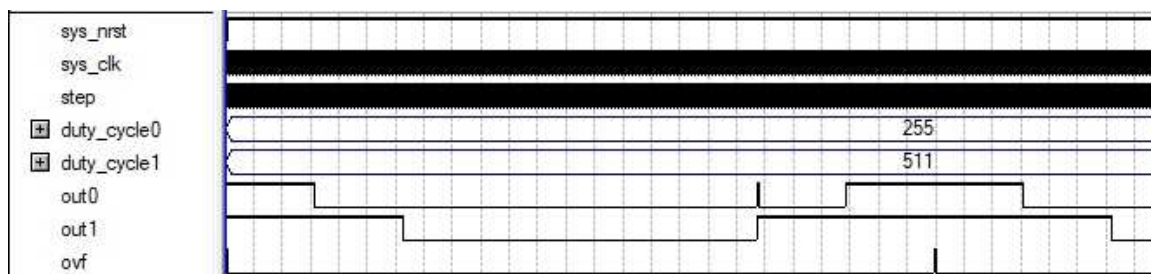


Рис. 8. Часові діаграми роботи двоканального блока ШІМ ( $PWM\_RESOLUTION = 10$ )

Основною задачею блоку відслідковувача сектора векторної модуляції (*BCVM*) є детектування сектору модуляції. В основі блока (рис. 9) лежить лічильник, який тактується сигналом переповнення двоканального модуля ШІМ. Цей лічильник рахує до зна-

чення, що відповідає кожним  $60^\circ$  на періоді синусоїди. Тобто максимальне значення  $K$ , за якого переповнюватиметься лічильник, становить:

$$K = \frac{2^N}{6}.$$

Це зумовлено тим, що кількість відліків синуса на періоді ( $2\pi$ ) становить  $2^N$ , де  $N$  – розрядність сигналу. Розрядність сигналу вказується користувачем на етапі синтезу цього блока в константі *SIGNAL\_RESOLUTION*. Наприклад, якщо *SIGNAL\_RESOLUTION* = 8, то значення, за якого лічильник повинен переповнитися, становить:  $2^8/6 = 42$ . Це значення відповідає  $1/6$  періоду ( $\pi/3$ ) синуса. Сигнал переповнення є тактуючим для детермінованого автомата векторної модуляції.

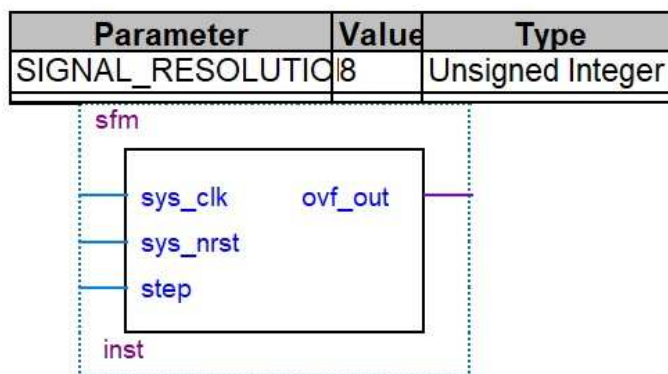


Рис. 9. Блок BCBM

На рис. 10 показано часові діаграми роботи блока BCBM.

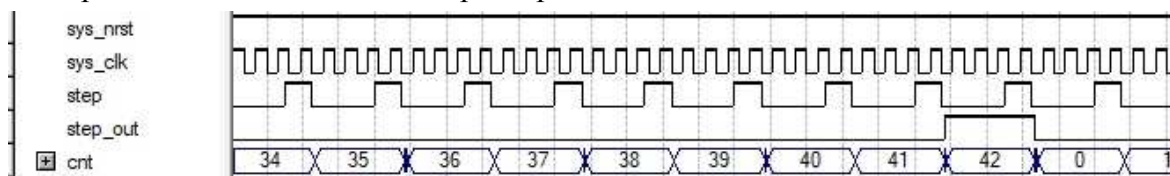


Рис. 10. Часові діаграми роботи блока BCBM (*SIGNAL\_RESOLUTION* = 8)

Блок розподілу сигналів модуляції являє собою маршрутизатор сигналів, що виконує комутацію за логічним «І» сигналів від блока *2X-ШІМ* до двох із сигналів (фаз) керування ключами. Це дозволяє створити результуючий заданий вектор із кутом відхилення  $\beta$ . *БРСМ*, аналізуючи сигнали від *ДАВМ* (тобто базовий вектор модуляції), дізнається про поточний сектор векторної модуляції і подає ШІМ-заповнення на відповідні базові вектори, які є межами цього сектору.

Для синтезу блока просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції (*ПВШІМ*) необхідно об'єднати усі структури (субблоки), які були описані вище, відповідно до рис. 1. Для цього потрібно використати оператор **component entity\_declaration end component** для інстанціювання субблоків до глобальної сутності блоку *ПВШІМ*. Також необхідно створити зв'язки (сигнали) між блоками. Для цього потрібно задекларувати додаткові сигнали і застосувати оператор переприсвоєння портів вводу/виводу **port map(port\_association\_list)** із оператором переприсвоєння реконфігурованих констант **generic map(generic\_association\_list)**. Значення для усіх реконфігурованих констант інстанційованих модулів буде залежати від значення *PWM\_RESOLUTION* блока *ПВШІМ*.

Часові діаграми вихідних сигналів блока *ПВШІМ* показано на рис. 11. Вхідні сигнали аналогічні представленим на діаграмах рис. 4. Як видно із рис. 11, на вихідних сигналах керування верхніми ключами присутнє ШІМ-заповнення, яке промодульовано за законом, що відповідає формулам (1) та (2).

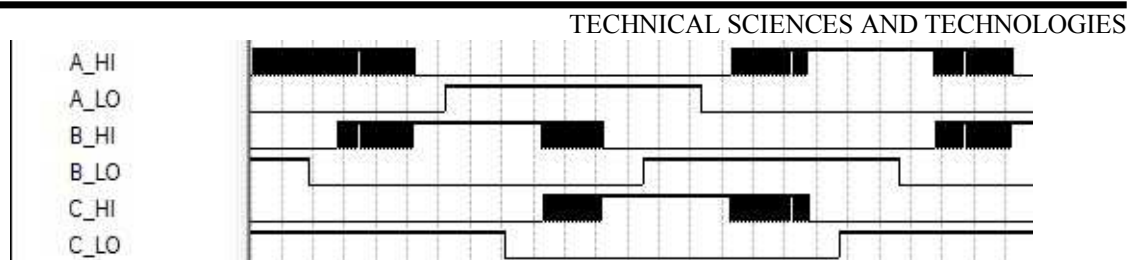


Рис. 11. Часові діаграми роботи блока ПВШІМ

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено новий алгоритм імплементації блока просторово-векторної широтно-імпульсної модуляції в складі контролера індукційного двигуна на базі ПЛІС. Усі складові цього блока реалізовано з використанням мови опису апаратури *VHDL*. Цей блок ПВШІМ є досить гнучким, оскільки під час його реалізації було дотримано парадигми синтезу структур змінної розрядності. Тобто, реконфігурація параметрів автоматично призводить до синтезу блоків із заданими параметрами (розрядність лічильників, регістрів, шин даних, об'єм пам'яті). Також використано особливий підхід для автоматичного заповнення комірок *ROM* відліками синусоїди. Ця дія виконується на етапі компіляції, а результатом синтезу є готовий блок пам'яті заданої користувачем розрядності із проініціалізованими комірками.

Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку принципів імплементації інших блоків контролера індукційного двигуна на базі ПЛІС: спостерігачів ковзання, потокозчеплення ротора і моменту, апаратних блоків прямого та оберненого перетворень Парка та Кларк, регулятора, а також проведення натурного експерименту.

#### Список використаних джерел

1. *Tesla Inc.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.tesla.com>.
2. *Сайт спільного українсько-німецького підприємства «Електронтранс»* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://eltrans.electron.ua>.
3. *Induction motor* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://en.wikipedia.org/wiki/Induction\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor).
4. *Анучин А. С.* Системы управления электроприводов / А. С. Анучин. – М. : МЭИ, 2015. – 373 с.
5. *Park, Inverse Park and Clarke, Inverse Clarke Transformations MSS Software Implementation. User guide* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_view/132799-park-inverse-park-and-clarke-inverse-clarke-transformations-mss-software-implementation-user-guide](https://www.microsemi.com/document-portal/doc_view/132799-park-inverse-park-and-clarke-inverse-clarke-transformations-mss-software-implementation-user-guide).
6. *Texas Instruments High Voltage Motor Control and PFC Developer's Kit* – Retrieved from <http://www.ti.com/tool/TMDSHVMTRPFCKIT>.
7. *Яценко С. І.* Контролер для векторного керування індукційним двигуном на базі програмованої логічної інтегральної схеми / С. І. Яценко, В. П. Войтенко, Р. Д. Єршов // Новітні технології сучасного суспільства (НТСС-2017) : науково-практична конференція (м. Чернігів, 1 грудня 2017 р.) : тези доповідей. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – С. 45–47.
8. *Chen W.* Design of an FPGA-based space vector PWM generator for three-phase voltage-sourced inverters / Chen W., Pien C., Feng Y. // Proc. IEEE Power Energy Conf., Dec. – 2008. – P. 584–588.
9. *Yang G.* The design of SVPWM IP core based on FPGA / Yang G., Zhao P., Zhou Z. // Proc. IEEE Embedded Softw. Syst. Symp. – 2008. – Jul. – P. 191–196.
10. *Tzou Y.* FPGA realization of space-vector PWM control IC for three-phase PWM inverters / Tzou Y., Hsu H.-J. // IEEE Trans. Power Electron. – 1997. – Vol. 12, no. 6. – Nov. – P. 953–963.
11. *Rekha K. R. Vashishtha S.* Survey on FPGA Based Space Vector PWM Motion Control / K. R. Rekha // IJAREEIE. – 2015. – Vol. 4, issue 1. – Jan. – P. 282–288.
12. *Space Vector Modulation* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_vector\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_vector_modulation).
13. *How To Generate Sine Samples in VHDL.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://surf-vhdl.com/how-to-generate-sine-samples-in-vhdl/>.

### References

1. Tesla Inc (n.d.). *tesla*. Retrieved from <https://www.tesla.com> [in English].
2. «Electrontrans» Joint Ukrainian-German venture LLC. (n.d.). *eltrans.electron.ua*. Retrieved from <http://eltrans.electron.ua> [in English].
3. Induction motor. (n.d.). *wikipedia.org*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Induction\\_motor](https://en.wikipedia.org/wiki/Induction_motor) [in English].
4. Anuchin, A. S. (2015). *Sistemy upravleniya elektroprivodov [Electric drive control systems]*. Moscow: Publishing House MEI [in Russian].
5. Park, Inverse Park and Clarke, Inverse Clarke Transformations MSS Software Implementation. User guide. (n.d.). *microsemi.com*. Retrieved from [https://www.microsemi.com/document-portal/doc\\_view/132799-park-inverse-park-and-clarke-inverse-clarke-transformations-mss-software-implementation-user-guide](https://www.microsemi.com/document-portal/doc_view/132799-park-inverse-park-and-clarke-inverse-clarke-transformations-mss-software-implementation-user-guide) [in English].
6. Texas Instruments High Voltage Motor Control and PFC Developer's Kit (n.d.). *www.ti.com*. Retrieved from <http://www.ti.com/tool/TMDSHVMTRPFCKIT> [in English].
7. Yatsenko, S. I., Voytenko, V. P. & Yershov, R. D. (2017). *Kontroler dlya vektornoho keruvania induktsiynym dvygunom na bazi prohramovanoi lohichnoyi intehralnoyi shemy [Controller for vector control of induction motor on the basis of programmable logic integrated circuit]*. Proceedings from Scientific and Practical Conference “Novel technologies of smart society” (pp. 45–47). Chernihiv: CNUT [in Ukrainian].
8. Chen, W., Pien, C. & Feng, Y. (2008). Design of an FPGA-based space vector PWM generator for three-phase voltage-sourced inverters. *Proc. IEEE Power Energy Conf.*, 584–588 [in English].
9. Yang, G., Zhao, P. & Zhou, Z. (2008). The design of SVPWM IP core based on FPGA. *Proc. IEEE Embedded Softw. Syst.*, 191–196 [in English].
10. Tzou, Y., Hsu, H.-J. (1997). FPGA realization of space-vector PWM control IC for three-phase PWM inverters. *IEEE Translation Power Electronical*, 12, 6, 953–963 [in English].
11. Rekha, K. R. & Vashishtha, S. (2015). Survey on FPGA Based Space Vector PWM Motion Control. *IJAREEIE*, 4, 1, 282–288 [in English].
12. Space Vector Modulation. (n.d.). *wikipedia.org*. Retrieved from [https://en.wikipedia.org/wiki/Space\\_vector\\_modulation](https://en.wikipedia.org/wiki/Space_vector_modulation) [in English].
13. How To Generate Sine Samples in VHDL. (n.d.). *surf-vhdl.com*. Retrieved from <http://surf-vhdl.com/how-to-generate-sine-samples-in-vhdl/> [in English].

UDC 621.3.07

*Serhii Yatsenko, Volodymyr Voytenko, Roman Yershov*

## IMPLEMENTATION OF THE SPACE-VECTOR PULSE-WIDTH MODULATION BLOCK AS A PART OF INDUCTION MOTOR CONTROLLER BASED ON FPGA

**Urgency of the research.** *The improvement of electric vehicles and public electric transport is dealing with the merging to electric drives of a direct-torque frequency-controlled drive based on an induction motor with a squirrel-cage rotor and a vector control system.*

**Target setting.** *The quality of control is mainly limited by the speed of the digital control system, which must perform a huge number of complex vector-based calculations.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *In applied solutions based on DSP or DSC with built-in hardware modules, the maximum PWM carrier frequency is limited by the core sequential architecture. In FPGA-based solutions, the coordinate transformation functions are realized on the basis of logic and arithmetic configurable blocks, whose, as a result of synthesis, occupies an excessive amount of IC resources.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *A more faster and efficient solution is to determine trigonometric functions using a lookup table based method with base vector switching using a separate finite state machine.*

**The research objective.** *The aim of research is to develop of algorithms for constructing a block of SVPWM as part of an induction motor controller based on FPGA and implementing its components using VHDL (hardware description language).*

**The statement of basic materials.** *The structure and operation algorithm of the block that consists of the vector modulation sector observer unit, the finite-state machine of state-vector modulation unit, the reverse counter unit, the sine function lookup table unit, the two-channel PW-modulator unit, and the modulation signal distribution unit. All units are described using VHDL and are composed into a global entity. The timing diagrams of the output signals of the SVM are modulated by the PWM signal, which duty cycle is changes according to a sinusoidal law.*

**Conclusions.** *A new algorithm for constructing a flexible block of space-vector pulse-width modulation as a part of an induction motor controller based on FPGA with using of generic and scalable features of VHDL is developed.*

**Keywords:** FPGA; VHDL; digital design; space-vector pulse width modulation (SVPWM); field-oriented control (FOC); induction motor; direct electric drive.

*Fig.: 11. References: 13.*

УДК 621.3.07

Сергей Яценко, Владимир Войтенко, Роман Ершов

## РЕАЛИЗАЦИЯ БЛОКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ В СОСТАВЕ КОНТРОЛЛЕРА ИНДУКЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА БАЗЕ ПЛИС

**Актуальность темы исследования.** Совершенствование электромобилей и общественного электротранспорта происходит за счет перехода на электрические тяговые установки прямого частотно-управляемого привода на основе индукционного двигателя с короткозамкнутым ротором и с векторной системой управления.

**Постановка проблемы.** Качество работы ограничивается быстродействием цифровой системы управления, которая должна выполнять большое количество сложных вычислений над векторами.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В решениях на основе сигнальных микроконтроллеров со встроенными аппаратными модулями максимальная частота ШИМ ограничена архитектурой процессора последовательного действия. В структурах с использованием ПЛИС функции координатных преобразований реализованы на основе логических и арифметических субблоков, которые в результате синтеза будут занимать чрезмерный объем ресурсов.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Более эффективное решение – с определением значений тригонометрических функций табличным методом с переключением базовых векторов с помощью отдельного детерминированного цифрового автомата.

**Постановка задачи.** Целью исследования является разработка алгоритмов построения блока пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции в составе контроллера индукционного двигателя на основе ПЛИС и реализация отдельных составляющих с использованием языка описания аппаратуры VHDL.

**Изложение основного материала.** Предложена структура и алгоритм функционирования блока в составе наблюдателя сектора векторной модуляции, детерминированного автомата векторной модуляции, реверсивного счетчика, таблицы отсчетов функции синуса, двухканального ШИМ-модулятора, и блока распределения сигналов модуляции. Все блоки описаны на VHDL и объединены в глобальную сущность. На временных диаграммах выходных сигналов векторного модулятора присутствует заполнение ШИМ-сигналом, модулированного по синусоидальному закону.

**Выводы в соответствии со статьей.** Разработан новый алгоритм построения гибкого блока пространственно-векторной широтно-импульсной модуляции в составе контроллера индукционного двигателя на базе структур переменной разрядности в ПЛИС.

**Ключевые слова:** ПЛИС; VHDL; цифровой дизайн; пространственно-векторная широтно-импульсная модуляция (ПВШИМ); индукционный двигатель; векторное управление; прямой (безредукторный) электропривод.

*Рис.: 11. Библ.: 13.*

**Яценко Сергій Ігорович** – студент магістратури, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Яценко Сергей Игоревич** – студент магистратуры, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Yatsenko Serhii** – MSc student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** royalroad1995@gmail.com

**Войтенко Володимир Павлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Войтенко Владимир Павлович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Voytenko Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** volodymyr.voytenko@inel.stu.cn.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-1490-0600>

**ResearcherID:** F-8698-2014

**Scopus Author ID:** 36167678700, 55328056100

**Єршов Роман Дмитрович** – асистент кафедри промислової електроніки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035 Україна).

**Ершов Роман Дмитриевич** – асистент кафедры промышленной электроники, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Yershov Roman** – assistant of the Industrial Electronics Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** roman.d.yershov@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0267-2906>

**ResearcherID:** H-1432-2016

**Scopus Author ID:** 57188719994

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 543.54:664

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-150-158

Ольга Сиза, Ірина Тимкова, Олеся Савченко, Вікторія Челябієва

### ЕФЕКТИВНІСТЬ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ МЕТОДОМ ТОНКОШАРОВОЇ ХРОМАТОГРАФІЇ

**Актуальність теми дослідження.** За якісним та кількісним складом компонентів у харчових продуктах можна судити, наскільки вони натуральні й безпечні, який у них вміст вітамінів і мікроелементів, як змінюються властивості у процесі технологічної обробки.

**Постановка проблеми.** Відомо, що на вміст вітаміну С значно впливають тривалість, спосіб зберігання овочів та фруктів та їх технологічна обробка. Для визначення якісного й кількісного складу харчових продуктів використовують методи газорідинної, йонообмінної або рідинної хроматографії високої роздільної здатності. При цьому незаслужено мало уваги надається застосуванню методу тонкошарової хроматографії (ТШХ).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У наукових публікаціях показано перспективність застосування методу тонкошарової хроматографії: для визначення супутніх простих цукрів у зразках пектину; при вивченні хімічного складу фармакологічних сполук і біологічних об'єктів; при визначенні антибіотиків у молоці і м'ясі тварин. Підкреслюється, що одним з важливих етапів у аналізі речовин є обов'язкове підтвердження одержаних результатів альтернативними аналітичними методами.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз публікацій показав, що нині метод ТШХ не отримав значного поширення для застосування в контролі якості харчових продуктів.

**Постановка завдання.** На основі тонкошарової хроматографії, як доступного експрес-метода, показати ефективність контролю якості харчових продуктів і змін, які відбуваються в них при зберіганні та обробці.

**Викладення основного матеріалу.** З використанням методу ТШХ досліджували стабільність вітаміну С при нагріванні й при дії оцтової кислоти (умови консервування), а також вміст вітаміну С у продуктах харчування, які вживаються найбільше після їх тривалого зберігання (лимон, яблуко, картопля, буряк) і можуть бути джерелом вітаміну С у зимово-весняний період.

Дослідження, проведені йодометричним методом шляхом прямого титрування, показали задовільну збіжність з результатами, отриманими методом ТШХ.

**Висновки і пропозиції.** Показано доцільність використання методу тонкошарової хроматографії для аналізу якісного й кількісного складу харчових продуктів. Метод відрізняється простотою виконання, невисокою вартістю, дозволяє одночасно досліджувати декілька проб речовин і може застосовуватись як експрес-метод.

**Ключові слова:** тонкошарова хроматографія, експрес-метод, контроль якості, харчові продукти.

Табл.: 1. Рис.: 5. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** За якісним та кількісним складом компонентів у харчових продуктах можна судити, наскільки вони натуральні й безпечні, який у них вміст вітамінів і мікроелементів, як змінюються властивості при технологічній обробці. Від цих показників залежить здоров'я людини. На жаль, у повсякденному житті ми дуже часто стаємо свідками фальсифікації різної продукції та дезінформації. Представлена робота показує доцільність використання методу тонкошарової хроматографії (ТШХ) для аналізу якісного і кількісного складу харчових продуктів (на прикладі визначення вмісту вітаміну С). Метод відрізняється простотою виконання, невисокою вартістю, дозволяє одночасно досліджувати декілька проб речовин і може застосовуватись як експрес-метод у контролі якості харчових продуктів. Тому тема досліджень є важливою й актуальною як у науковому, так і прикладному плані.

**Постановка проблеми.** Відомо, що одним із важливих показників біологічної цінності продуктів харчування є вміст вітамінів. Так, наприклад, добова потреба дорослої людини у вітаміні С становить 100 мг, а для дитини – 20–60 мг. Вітамін С виконує в організмі дві основні функції: забезпечення імунного захисту і стабілізацію психіки. Дефіцит вітаміну С призводить до послаблення імунної системи, уповільнення регенерації тканин, кровоточивості ясен, випадіння зубів, варикозного розширення вен, надлишкової ваги, підвищеної втоми, роздратування, депресій, безсоння, випадіння во-

лосся, погіршення зору, раннього утворення зморшок [1]. Але організм людини не здатен синтезувати вітамін С, тому людина повинна постійно отримувати його з їжею.

Основним джерелом вітаміну С є рослини. Однак на вміст вітаміну С значно впливають тривалість, спосіб зберігання овочів та фруктів та їх технологічна обробка. Тому для забезпечення повноцінного харчування потрібно постійно здійснювати контроль якості продуктів.

Для визначення якісного і кількісного складу харчових продуктів використовують методи газорідної, йонообмінної або рідинної хроматографії високої роздільної здатності. Кількісне визначення окремих компонентів можна проводити за допомогою йонометрії з використанням ферментних електродів з високою селективністю [2; 3]. При цьому незаслужено мало уваги надається застосуванню методу тонкошарової хроматографії. У цьому методі хроматографування речовин відбувається у тонкому шарі сорбенту, нанесеному на тверду плоску поверхню. Розділення в основному відбувається на основі сорбції-десорбції. Тонкошарова хроматографія є одним із найбільш простих і ефективних експрес-методів розділення й аналізу речовин у біологічних рідинах та інших об'єктах, що не вимагають складного устаткування. Метод має високу вибірковість і чутливість – можна визначити 10–20 мкг речовини з точністю до 5 %. Перевагою методу тонкошарової хроматографії є також те, що він дозволяє одночасно досліджувати декілька проб речовин.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі [4] представлено експериментальні дані з дослідження якісного складу супутніх простих цукрів у зразках пектину методами тонкошарової хроматографії і ІЧ-спектроскопії. На основі проведених досліджень запропоновано режими проведення гідролізу пектину для подальшого хроматографування; встановлено параметри поведінки тонкошарової хроматографії гідролізатів пектину.

Доступний і простий метод ТШХ застосовується при вивченні хімічного складу як фармакологічних сполук, так і біологічних об'єктів. Так, ловастатин привертає увагу учених своєю фармакологічною активністю, проте нині продовжується вивчення особливостей його біологічної активності. У зв'язку з цим потрібен постійний якісний і кількісний контроль вмісту ловастатину не тільки у готових очищених препаратах, але й у сировинних об'єктах та проміжних продуктах синтезу. Авторами [5] розроблено просту методику визначення ловастатина методом тонкошарової хроматографії. Здійснено підбір хроматографічних пластинок і оптимального розчинника для хроматографування.

Хроматографічні методи знайшли застосування і при визначенні антибіотиків у харчових продуктах. Для визначення хлорамфенікола в молоці й м'ясі тварин запропоновано використовувати метод ТШХ з УФ-детектуванням [6]. Межа визначення становить 1 мг/кг, методика за чутливістю альтернативна високоефективній рідинній хроматографії.

В оглядовій роботі [7] представлено інформацію щодо результатів досліджень, проведених методом ТШХ. Встановлено закономірності хроматографічної поведінки в тонких шарах сорбентів (силікагель, оксид алюмінію) гомологічних рядів аліфатичних і ароматичних амінів, альдегідів, алкилзаміщених моно- і біс-фенолів, алкил- і арилзаміщених органічних пероксидів, похідних дитіокарбомінової кислоти, нітрогенвмісних гетероциклічних сполук. Підкреслюється, що одним з важливих етапів в аналізі токсичних органічних речовин є обов'язкове підтвердження одержаних результатів (ідентифікація речовини) альтернативним аналітичним методом або за допомогою поєднання різних аналітичних методів.

У наших попередніх дослідженнях [8] визначено вплив технологічних умов виробництва фруктових соків на вміст вітаміну С. Показано залежність кількості аскорбінової кислоти від ферментативної активності специфічної аскорбатоксидази, кисню повітря й інших продуктів окиснення, які утворюються у результаті діяльності різних оксидаз. Запропоновано режим обробки для збереження вітаміну С у фруктових соках. Дослідження продуктів на вміст вітаміну С проводили йодометричним методом шля-

хом прямого титрування. Але цікаво було б провести аналогічні дослідження з використанням альтернативного методу – тонкошарової хроматографії.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз публікацій показав, що тонкошарова хроматографія може бути не лише якісним, а й кількісним методом аналізу, що дає можливість застосувати його під час дослідження харчових продуктів на вміст різних речовин та безпеку споживання. Але нині цей метод не отримав значного поширення в контролі якості харчових продуктів.

**Мета статті.** На основі тонкошарової хроматографії, як доступного експрес-методу, показати ефективність контролю якості харчових продуктів і змін, які відбуваються в них при зберіганні та обробці.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводили на пластинках Silufol UV256 (50×150 мм) за таких умов (рис. 1, 2): відстань між пробами 15 мм, лінія старту (aa) на висоті 10 мм від нижнього краю пластини. Проби об'ємом 5 мкл ( $5 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$ ) наносили з використанням мікрошприца (діаметр плям 3-5 мм). Після випаровування розчинника пластинку вносили у скляну камеру, на дно якої налито розчинник (РФ – рухома фаза) у кількості, достатній для утворення шару глибиною 5-10 мм. Камеру закривали кришкою. Після досягнення фронтом розчинника (етанол-гексан = 3:1) верхнього краю (bb), пластину сушили у витяжній шафі теплим повітрям протягом 1 хвилини.

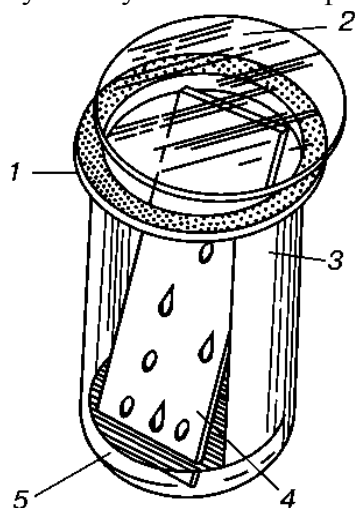


Рис. 1. Камера для хроматографії:

1 – склянка з плоским шліфом; 2 – кришка до склянки; 3 – смужка фільтрувального паперу; 4 – хроматографічна пластинка; 5 – елюент (5-10 мм від дна склянки)

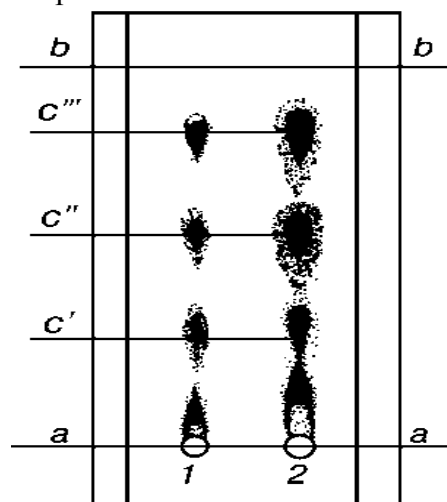


Рис. 2. Хроматограма:

1 – розділення речовини при правильному нанесенні; 2 – розділення при «перевантаженні» хроматограми; aa – лінія старту; bb – лінія фронту елюента; c', c'', c''' – центри максимальної щільності плям

Детектування проводили у закритій посудині з кристалами йоду. Речовини проявляються у вигляді плям (рис. 2), положення яких характеризується величиною  $R_f$  (Ratio of fronts – відношення фронтів). Відповідно з цим  $R_f$  адсорбованих речовин менше одиниці:

$$R_f = \frac{\text{Відстань, яку пройшла речовина від точки старту (ac)}}{\text{Відстань, яку пройшла рухома фаза від точки старту (ab)}}$$

Для підтвердження і порівняння отриманих результатів вміст вітаміну С у продуктах досліджували також йодометричним методом шляхом прямого титрування. Для визначення відбирали пробу соку об'ємом  $10 \text{ см}^3$ , розбавляли дистильованою водою у мірній колбі до  $100 \text{ см}^3$ . Отриманий розчин переносили в конічну колбу, добавляли  $1-2 \text{ см}^3$  1%-го розчину крохмалю і титрували робочим розчином до утворення синього забарвлення, яке не зникає протягом 10 секунд. Робочий розчин –  $0,005 \text{ н I}_2$ .

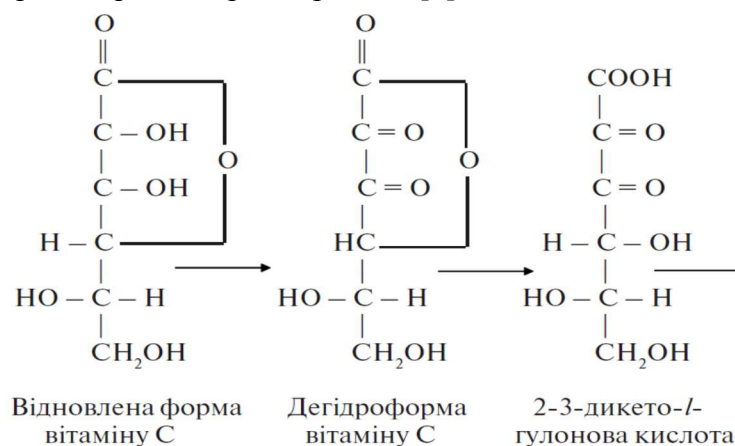


З використанням методу ТШХ (рис. 3) досліджували стабільність вітаміну С при нагріванні та при дії оцтової кислоти (умови консервування), а також вміст вітаміну С у продуктах харчування, які вживаються найбільше після їх тривалого зберігання (лимон, яблуко, картопля, буряк) і можуть бути джерелом вітаміну С у зимово-весняний період.



Рис. 3. Проведення дослідження у камерах для хроматографії

Відомо, що вітамін С (аскорбінова кислота) – нестійка сполука, оскільки до складу молекули входять дві гідроксильні групи, що знаходяться біля одного подвійного зв'язку. Аскорбінова кислота є відновником: окиснення її відбувається при кімнатній температурі, цей процес зростає при нагріванні [1]:

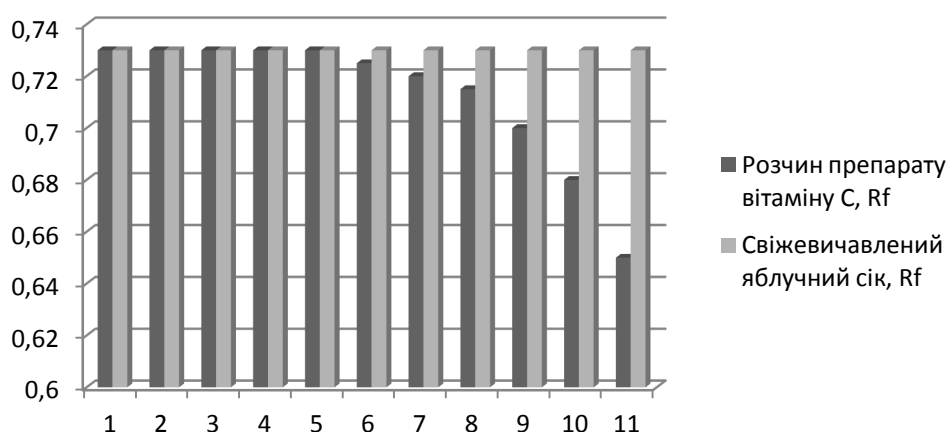


У цьому досліді ми кип'ятили 1%-ий розчин чистого препарату вітаміну С (придбано в аптеці) і свіжовичавлений сік яблук протягом 11 хвилин. Проби відбирали через кожну хвилину і наносили на пластини Silufol, щоб відстежити, які зміни відбуваються у процесі кип'ятіння (рис. 4, а). За отриманими результатами розраховували константи  $R_f$  та побудували діаграму змін визначених констант від часу кип'ятіння (рис. 4, б). Визначено, що після шостої хвилини кип'ятіння відбувається руйнування аскорбінової кислоти (чистий препарат), тоді як у свіжовичавленому яблучному соку суттєвих змін не спостерігали.

Тобто чистий препарат вітаміну С руйнується при кип'ятінні більше, ніж вітамін С яблучного соку. Таке явище пояснюється найбільшою особливістю вітаміну С – здатністю до відновлення його окисненої форми ферментом *аскорбінредуктазою*, що міститься у фруктах. Тоді як інший фермент – *аскорбатоксидаза* діє навпаки, тобто переводить вітамін С в окиснену форму, яка не виявляє біологічних властивостей вітаміну С в організмі людини і не забезпечує імунний захист та ін.



а



б

Рис. 4. Вид отриманих хроматограм (а) та залежність R<sub>f</sub>-фактора від часу кип'ятіння розчину препарату вітаміну С та свіжевичавленого яблучного соку (б)

У різних рослинних продуктах активність аскорбатоксидази неоднакова. Вона дуже висока в огірках, кабачках і низька в картоплі, капусті. У деяких овочах, фруктах та ягодах (солодкий перець, ріпчаста цибуля, цитрусові, шипшина, смородина та ін.) аскорбатоксидаза взагалі відсутня [1].

L-аскорбінова кислота і її дегідроформа утворюють окисно-відновну систему, яка може як віддавати, так і приймати Гідроген. Дегідроформа виконує роль акцептора Гідрогену і легко відновлюється в аскорбінову кислоту ферментом аскорбінредуктазою, яка підводить до неї Гідроген, віднімаючи його від різних субстратів. Необхідною умовою активності аскорбінредуктази є присутність глутатіону, який є трипептидом, що складається із залишків глютамінової кислоти, цистеїну й амінооцтової кислоти. Глутатіон зустрічається в усіх рослинних і тваринних клітинах. Роль глутатіону, при переході дегідроаскорбінової кислоти в аскорбінову під дією аскорбінредуктази, зводиться до передачі йонів Гідрогену дегідроформі, переводячи її у аскорбінову кислоту.

Для того щоб не помилитися (стосовно наявності різних видів ферментів) і отримувати найбільшу користь від споживання овочів і фруктів, існує загально відома ре-

комендація – вживати сирі овочі і фрукти, де знаходиться найбільший вміст незруйнованого вітаміну С, або кип'ятити не більше 5 хвилин.

Результати дослідження стабільності препарату вітаміну С в оцтовій кислоті (9%-ий розчин), яка використовується при консервуванні овочів і фруктів як консервант, наведено на рис. 5. Проби відбирали через кожні 5 хвилин протягом 20 хвилин.

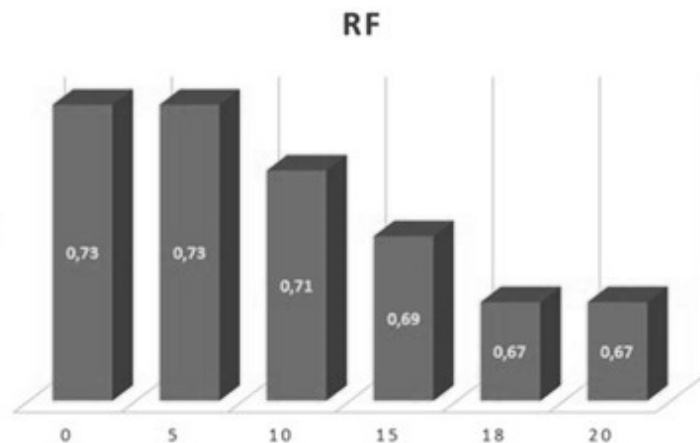


Рис. 5. Залежність  $R_f$ -фактора від часу знаходження препарату вітаміну С у розчині оцтової кислоти

З представленої діаграми видно, що вітамін С руйнується через 10-15 хвилин знаходження в розчині оцтової кислоти, тому потрібно вносити оцтову кислоту до салатів із свіжих овочів безпосередньо перед споживанням у їжу.

Наступним етапом роботи було дослідження вмісту вітаміну С у продуктах харчування після їх тривалого зберігання.

З'ясовано, що у квітні місяці у картоплі й буряку вміст вітаміну С суттєво зменшився (на 67,3 і 74,2 % відповідно), а в моркві вітаміну С не виявлено. У лимоні та яблуці аскорбінова кислота присутня у кількості 44,7 і 10,0 мг/100 г відповідно. Порівняно із соком свіжозірваних плодів того ж сорту яблук, вміст вітаміну С знизився на 35,9 %, тоді як у лимоні – практично без змін. Це також можна пояснити відсутністю у складі лимона ферменту *аскорбатоксидази*, що окиснює вітамін С, та наявністю цього ферменту в складі яблук, картоплі й буряка. Результати дослідів наведено у таблиці.

Таблиця

Вміст вітаміну С у овочах і фруктах

Назва продукту	Свіжозірвані продукти		Після тривалого зберігання (на 30 квітня)		
	$R_f$	Вміст вітаміну С, мг /100 г продукту	$R_f$	Вміст вітаміну С, мг /100 г продукту	Вміст вітаміну С, мг /100 г продукту (титрування)
Препарат – вітамін С	0,72	–	–	–	–
Лимон	0,72	45,0	0,72	44,7	44,6
Яблуко	0,72	15,6	0,72	10,0	10,1
Картопля	0,72	16,5	0,72	5,4	5,8
Буряк	0,72	12,8	0,72	3,3	3,5
Морква	0,71	5,1	0,40	не виявлено	не виявлено

Дослідження, проведені йодометричним методом шляхом прямого титрування показали задовільну збіжність результатів дослідів (таблиця).

**Висновки відповідно до статті.** Показано доцільність використання методу тонкошарової хроматографії для аналізу якісного і кількісного складу харчових продуктів. Метод відрізняється простотою виконання, невисокою вартістю, дозволяє одночасно досліджувати декілька проб речовин і може застосовуватись як експрес-метод.

Методом тонкошарової хроматографії з'ясовано, що при технологічній обробці рослинних продуктів харчування (кип'ятіння, додавання оцтової кислоти як консерванту) вміст вітаміну С у аптечному препараті знижується на 5-10 хвилині, що збігається з наявними літературними даними, отриманими іншими методами. Тоді як у свіжовичавленому яблучному соку, при кип'ятінні протягом цього часу, вміст вітаміну С залишається практично без змін завдяки наявності ферменту *аскорбінредуктази*, що при підвищенні температури відновлює вітамін С, а фермент *аскорбатоксидаза* – інактивується.

Двома незалежними методами показано, що після тривалого зберігання вміст вітаміну С значно зменшується (або вітамін С взагалі відсутній) у харчових продуктах, що містять фермент *аскорбатоксидазу*, який руйнує вітамін С.

Підтверджено, що для отримання найбільшої користі від споживання овочів і фруктів необхідно вживати їх у сирому вигляді або кип'ятити не більше 5 хвилин. При виготовленні салатів додавати оцтову кислоту безпосередньо перед споживанням.

#### Список використаних джерел

1. Смирнов В. А. Витамины и коферменты : [учеб. пособие] / В. А. Смирнов, Ю. Н. Климошкин. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2008. – 91 с.
2. Федорченко С. В. Хроматографічні методи аналізу : навч. посіб. / С. В. Федорченко, С. А. Курта. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т ім. В. Стефаника, 2012. – 146 с.
3. Пищевая химия / [под ред. А. П. Нечаева]. – СПб.: ГИОРД, 2007. – 640 с.
4. Определение простых сахаров с помощью методов тонкослойной хроматографии и ИК-спектроскопии / В. А. Седакова, О. А. Строгина, А. С. Береснева, А. С. Савицкая // Пищевая промышленность: наука и технологии. – 2012. – № 2 (16). – С. 63–69.
5. Определение ловастатинон методом тонкослойной хроматографии / С. С. Аванесян, Л. Д. Тимченко, С. И. Писков, Д. А. Ковалев // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2015. – Т. 15, Вып. 5. – С. 693–698.
6. Бельтюкова С. В. Методы определения антибиотиков в пищевых продуктах / С. В. Бельтюкова, Е. О. Ливенцова // Методы и объекты химического анализа. – 2012. – Т. 7, № 4. – С. 4–13.
7. Чмиль В. Д. Развитие хроматографических методов анализа токсических органических веществ в Украине / В. Д. Чмиль // Современные проблемы токсикологии. – 2002. – № 2. – С. 56–62.
8. Челябієва В. М. Вплив технологічних факторів на вміст вітаміну С у фруктових соках / В. М. Челябієва, О. М. Савченко, О. І. Сиза // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2015. – № 2 (78). – С. 224–229.

#### References

1. Smyrnov, V. A., Klimochkin, Yu. N. (2008). *Vitaminy y koferymenty [Vitamins and co-enzymes]*. Samara: Samar. gos. tekhn. un-t [in Russian].
2. Fedorchenko, S. V., Kurta, S. A. (2012) *Khromatohrafichni metody analizu [Chromatography methods of analysis]*. Ivano-Frankivsk: Prykarp. nats. un-t im. V. Stefanyka [in Ukrainian].
3. Nechaev, A. P. (Ed.) (2007). *Pishchevaia khymiiia [Food chemistry]*. SPb.: HYORD [in Russian].
4. Sedakova, V. A., Strohina, O. A., Beresneva, A. S., Savatskaia, A. S. (2012). *Opredelenie prostykh sakharov s pomoshchiu metodov tonkosloinoi khromatohrafii i IK-spektroskopii [Definition of simply sugars by methods of thin layer chromatography and IR-spectroscopy]*. *Pishchevaia promyshlennost: nauka i tekhnologii – Food Industry: Science and Technology*, 2 (16), 63–69 [in Russian].
5. Avanesian, S. S., Tymchenko, L. D., Piskov, S. I., Kovalev, D. A. (2015). *Opredelenie lovasstatina metodom tonkosloinoi khromatohrafii [TLC determination of lovastatin]*. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy – Sorption and chromatography processes*, 15, 5, 693–698 [in Russian].
6. Beltiukova, S. V., Liventsova, E. O. (2012). *Metody opredeleniia antibiotikov v pishchevykh produktakh [The methods of determination of antibiotics in food stuffs]*. *Metody i obekty khimicheskogo analiza – Methods and objects of chemical analysis*, 7, 4, 4–13 [in Russian].

7. Chmil, V. D. (2002). Razvitie khromatograficheskikh metodov analiza toksicheskikh organicheskikh veshchestv v Ukraine [Development of chromatography methods of analysis of toxic organic matters in Ukraine]. *Sovremennyye problemy toksikologii – Modern problems of toxicology*, 2, 56–62 [in Russian].

8. Cheliabiieva, V. M., Savchenko, O. M., Syza, O. I. (2015). Vplyv tekhnolohichnykh faktoriv na vmist vitaminu C u fruktovykh sokakh [Influence of technological factors on content of vitamin «C» in fruit juices]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, 2 (78), 224–229 [in Ukrainian].

UDC 543.54:664

*Olga Sizaya, Iryna Tymkova, Olesya Savchenko, Viktoriia Cheliabiieva*

### EFFICIENCY OF FOOD PRODUCTS QUALITY CONTROL BY THE METHOD OF THIN-LAYER CHROMATOGRAPHY

**Urgency of the research.** By high-quality and quantitative composition of components in food products it is possible to judge as far as they natural and safe, which composition of vitamins and microelements they have, what properties change during technological treatment.

**Target setting.** It is known, that on maintenances of vitamin C considerably influence the method storage and their technological treatment. Therefore, for providing high-quality food it is constantly needed to control the quality standarts of products. For determination of high-quality and quantitative composition of food products is use the methods of gas-liquid, ion-exchange or liquid chromatography of high resolution. At the same time, little attention is paid to the use of thin-layer chromatography (TLC).

**Analysis of recent research and publications.** Scientific publications show the promise of using the thin-layer chromatography method: to determine the concomitant simple sugars in pectin samples; when studying the chemical composition of pharmacological compounds and biological objects; when determining antibiotics in milk and animal meat. It is emphasized that one of the important stages in the analysis of organic substances is the mandatory confirmation of the obtained results by alternative analytical methods.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The analysis of publications showed that thin-layer chromatography did not get wide distribution for applying at food products quality control.

**The research objective.** On the basis of thin-layer chromatography, as accessible expres-method, to show efficiency food products quality control and changes which take place at storage and treatment.

**The statement of basic materials.** With using of TLC method the stability of vitamin C was explored at heating and vinegar acid action (terms of canning), and also maintenances of vitamin C in food products which are used after their long term storage (lemon, apple, potato, beet) and can be the source of vitamin C in a winter-spring period.

Researches, conducted by an iodometric method of titration showed satisfactory convergence with the results which got by TLC method.

**Conclusions.** The expedience of thin-layer chromatography method using is shown for the high-quality and quantitative analysis of food products composition. A method differs by simplicity of implementation, low costing, and allows to explore different samples at the same time. TLC can be used as an express-method.

**Keywords:** thin-layer chromatography; express method; control of quality; food products.

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

УДК 543.54:664

*Ольга Сизая, Ирина Тымкова, Олеся Савченко, Виктория Челябиева*

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ МЕТОДОМ ТОНКОСЛОЙНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

**Актуальность темы исследования.** По качественному и количественному составу компонентов в пищевых продуктах можно судить, насколько они натуральные и безопасные, какое в них содержание витаминов и микроэлементов, как меняются свойства при технологической обработке.

**Постановка проблемы.** Известно, что на содержание витамина С значительно влияют продолжительность, способ хранения овощей и фруктов и их технологическая обработка. Для определения качественного и количественного состава пищевых продуктов используют методы газожидкостной, ионообменной или жидкостной хроматографии высокого разрешения. При этом незаслуженно мало внимания уделяется методу тонкослойной хроматографии (ТСХ).

**Анализ последних исследований и публикаций.** В научных публикациях показана перспективность применения метода ТСХ: для определения сопутствующих простых сахаров в образцах пектина; при изучении химического состава фармакологических соединений и биологических объектов; при определении антибиотиков в молоке и мясе животных. Подчеркивается, что одним из важных этапов в анализе веществ является обязательное подтверждение полученных результатов альтернативными аналитическими методами.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Анализ публикаций показал, что метод ТСХ не получил широкого распространения для применения в контроле качества пищевых продуктов.

**Цель статьи.** На основе тонкослойной хроматографии, как доступного экспресс-метода, показать эффективность контроля качества пищевых продуктов и изменений, которые происходят в них при хранении и обработке.

**Изложение основного материала.** С использованием метода ТСХ исследовали стабильность витамина С при нагревании и при воздействии уксусной кислоты (условия консервирования), а также содержание витамина С в

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

продуктах питания, употребляются всего после их длительного хранения (лимон, яблоко, картофель, свекла) и могут быть источником витамина С в зимне-весенний период.

Исследования, проведенные йодометрическим методом путем прямого титрования показали удовлетворительную сходимостью с результатами, полученными методом ТСХ.

**Выводы и предложения.** Показана целесообразность использования метода тонкослойной хроматографии для анализа качественного и количественного состава пищевых продуктов. Метод отличается простотой исполнения, невысокой стоимостью, позволяет одновременно исследовать несколько проб веществ и может применяться как экспресс метод.

**Ключевые слова:** тонкослойная хроматография; экспресс-метод; контроль качества; пищевые продукты.

Табл.: 1. Рис.: 5. Библ.: 8.

**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 кафедрой 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

**Тимкова Ірина Олегівна** – адміністративний помічник АВ InBev, Сан ІнБев (вул. Індустріальна, 20, м. Чернігів, 14037, Україна).

**Тымова Ирина Олеговна** – административный помощник АВ InBev, Сан ИнБев (ул. Индустриальная, 20, г. Чернигов, 14037, Украина).

**Tymkova Iryna** – administrative assistant of АВ InBev, Sun InBev (20 Industrialna Str., 14037 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** ira.tymkova1994@gmail.com

**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

**Челябієва Вікторія Миколаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Челябиева Виктория Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Cheliabiieva Viktoriia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Food Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** vika.chl@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5364-4633>

**ResearcherID:** F-7305-2014

**Scopus Author ID:** 6505851894

УДК 684.4.05

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-159-167

Сергій Бойко, Андрій Єрошенко, Павло Ігнатенко

## ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА МЕБЛЕВИХ ФАСАДІВ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ САМ-СИСТЕМ

**Актуальність теми дослідження.** Більша частина робіт учених присвячена автоматизованому проектуванню корпусних меблів на основі різних САПР. Тому розробка методики підготовки виробництва меблевих фасадів складної геометричної форми та рослинних орнаментів за допомогою програмного пакета ArtCam компанії Autodesk, а також обґрунтування режимів різання та різучого інструменту для обробки сучасних матеріалів є актуальним питанням.

**Постановка проблеми.** На сучасному виробництві фасади кухонних та інших меблів переважно виготовляються із сучасних матеріалів. Однак типові варіанти не завжди відповідають індивідуальному стилю. З використанням верстатів з ЧПК можна легко виготовити різьблені фасади у своєму неповторному стилі. Використання верстатів з ЧПК є ефективним рішенням для імітації різьблення по дереву.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В Україні в процесі підготовки рельєфів для меблевих фасадів і виробів з деревини використовуються як конструкторські системи загального призначення (ArtCAM, AutoCAD, T-Flex CAD, ArchiCAD, SolidWorks, DecoDesign, 3D Studio Max тощо), так і спеціалізовані системи проектування (Woody, bCAD, PRO100, КЗ-Меблі тощо). Також слід вказати деякі програмні пакети для підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПК, такі як ArtCAM, FeatureCAM, PowerMill, MasterCAM і т. ін.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дуже мало робіт присвячено саме проектуванню та виготовленню об'ємних рельєфів на меблевих фасадах за допомогою САПР. Тому впровадження САПР саме для проектування складних рельєфів і форм для меблевих фасадів і виробів з деревини є актуальним у сьогоденні.

**Постановка завдання.** Розробка методики виготовлення меблевих фасадів складних геометричних форм і рослинного орнаменту з використанням програмного пакета Autodesk ArtCam.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновано методику підготовки виробництва меблевих фасадів складної геометричної форми та рослинних орнаментів за допомогою програмного пакета ArtCam компанії Autodesk. У роботі описані етапи проектування, моделювання й виготовлення декоративних елементів з використанням фотографій і авторських ескізів. Розроблено керуючу програму обробки декоративного елемента для фрезерно-гравіювального верстата з ЧПК. Обґрунтовано вибір режимів різання та різучого інструменту. Розглянуто ефективність використання сучасного програмного забезпечення і верстатів з ЧПК для меблевого виробництва.

**Висновки відповідно до статті.** У великій деревообробній компанії фрезерний верстат з ЧПУ використовується лише як один з елементів технологічного процесу. З великим асортиментом та великими обсягами виробництва фасадів така «вузька спеціалізація» виробництва є цілком обґрунтованою. Однак для невеликого підприємства, яке працює з індивідуальними замовленнями або виготовляє корпусні меблі, необхідно використовувати можливості фрезерного верстату з ЧПК більш широко.

**Ключові слова:** меблевий фасад; верстат ЧПК; декоративний елемент; рослинний орнамент; моделювання; режими різання.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

**Постановка проблеми.** Як відомо, у сучасному меблевому виробництві CAD/CAM-системи відіграють значну роль, оскільки дозволяють скоротити терміни підготовки до випуску нових виробів і підвищити якість продукції. Особливо високий ефект використання таких систем досягається при проектуванні виробів, що мають складні рельєфні поверхні. На сучасному виробництві фасади кухонних та інших меблів переважно виготовляються із сучасних матеріалів. Однак типові варіанти не завжди відповідають індивідуальному стилю. З використанням верстатів з ЧПК можна легко виготовити різьблені фасади у своєму неповторному стилі. Використання верстатів з ЧПК є ефективним рішенням для імітації різьблення по дереву.

Застосування верстатів з ЧПК з фасонними та V-подібними фрезами по дереву дозволяє виготовляти різьблені елементи фасадів, фільонки, вензелі, балясини, а так само рамки для картин та інші предмети інтер'єру.

У програмному пакеті ArtCAM можна виготовити дизайн виробу, використовуючи різні стратегії обробки. Імітація різьблення по дереву найбільш швидко виконується з використанням стратегії обробки – «Гравіювання по середній лінії» та «Обробка рельєфу». А виконавши візуалізацію дизайну, можна отримати точне 3D-уявлення готового виробу.

Тому розробка методики підготовки виробництва меблевих фасадів складної геометричної форми та рослинних орнаментів за допомогою програмного пакета ArtCam компанії Autodesk, а також обґрунтування режимів різання та різучого інструменту для обробки сучасних матеріалів є актуальним питанням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасних умовах величезне значення надається інформаційним технологіям, серед яких особливе місце посідає автоматизація проектування. У своєму розвитку автоматизоване проектування пройшло шлях від рішення окремих інженерних задач на ЕОМ до інтегрованих комплексів, орієнтованих на створення технічних об'єктів, починаючи з технічного завдання на них, до їх утилізації [1].

В Україні в процесі підготовки рельєфів для меблевих фасадів і виробів з деревини використовуються як конструкторські системи загального призначення (ArtCAM, AutoCAD, T-Flex CAD, ArchiCAD, SolidWorks, DecoDesign, 3D Studio Max тощо), так і спеціалізовані системи проектування (Woody, bCAD, PRO100, K3-Меблі тощо). Також слід вказати деякі програмні пакети для підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПК, такі як ArtCAM, FeatureCAM, PowerMill, MasterCAM і т. ін.

Аналіз літературних джерел дозволив встановити, що у руслі цього напрямку працюють такі науковці, як С. Столяровський, А. Стариков, С. Поротникова, О. Герасименко, Ю. Фещук. А. Стариков у своїх працях розглядає автоматизоване конструювання виробів корпусних меблів на основі САПР «bCAD для Мебельщика», «Базис-Конструктор-Мебельщик» [2; 3]. А. Кривошеев наголошує на доцільності використання САПР у процесі проектування виробів меблевого виробництва [4].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більшість робіт цих науковців присвячена автоматизованому конструюванню виробів саме корпусних меблів на основі різних САПР. Дуже мало робіт присвячено саме проектуванню і виготовленню об'ємних рельєфів на меблевих фасадах за допомогою САПР систем. Тому впровадження САПР саме для проектування складних рельєфів і форм для меблевих фасадів і виробів з деревини є актуальним у сьогоденні.

**Мета статті.** Розробка і проектування рельєфу складної геометричної форми для меблевих фасадів і підготовка керуючої програми для верстата з ЧПК у системі ArtCAM.

**Виклад основного матеріалу.** Як і в будь-якій іншій галузі, переваги використання верстатів з ЧПК полягають у значному підвищенні ефективності обробки заготовок, практично повне виключення випуску бракованих деталей і зниженні собівартості продукції.

Для деревообробного підприємства це досягається завдяки таким чинникам:

– **виробнича гнучкість.** Більша частина меблевих виробів проектується і випускається за індивідуальними замовленнями. Це означає, що навіть однотипні деталі в різних варіантах одного меблевого виробу можуть відрізнятися і розмірами, і формою. Верстати з ЧПК мають високу швидкість переналагодження і дозволяють проводити обробку навіть композиційних матеріалів з деревини [5; 6];

– **точність і повторюваність.** У меблевому виробі зустрічається значна кількість однакових деталей. Керуюча програма гарантує повну їх ідентичність, що підвищує естетичне сприйняття виробу і виключає проблеми під час складання. Необхідну точність можна отримати тільки в автоматичному режимі на верстаті з ЧПК;

– **безпомилковість.** При обробці геометрично складних елементів меблевого фасаду важливо суворе дотримання всіх розмірів. Верстат з ЧПК працює практично автономно, у точності відтворюючи задум дизайнера. Оператор виконує тільки підготовчі операції, наприклад, установку деталі на верстат або заміну інструменту. Це дозволяє йому одночасно обслуговувати кілька верстатів, що додатково скорочує витрати виробництва;

– **швидкість.** Обробка навіть складної за формою деталі на верстаті з ЧПК не вимагає виконання операцій розмірного контролю, на які витрачається чимало часу. Вона може бути одразу передана на наступні етапи обробки.

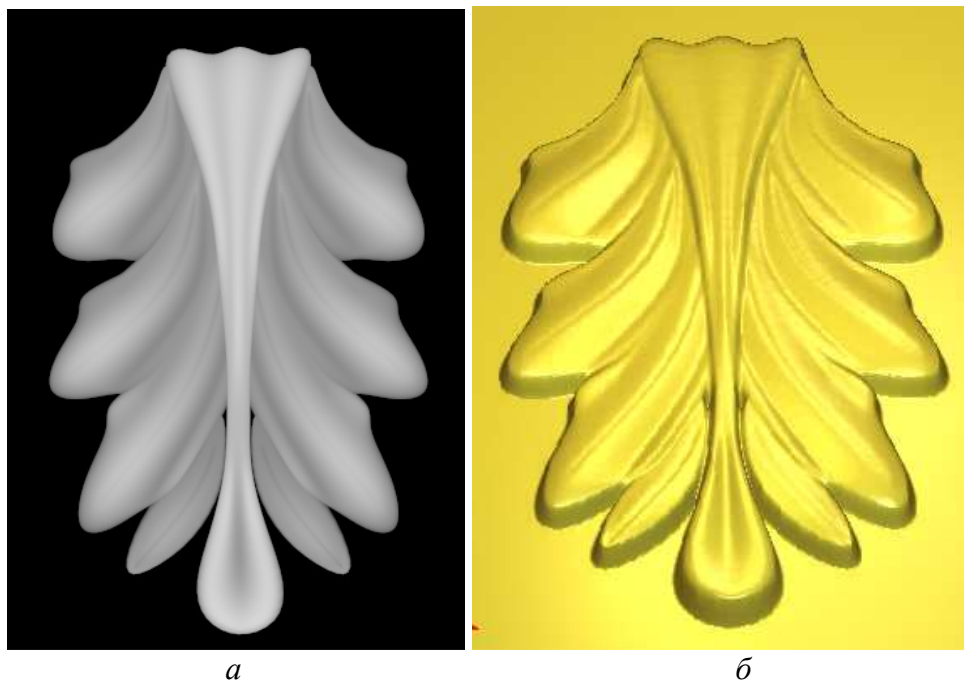
Таким чином, верстати з ЧПК у межах комплексної системи автоматизації забезпечують набагато більш швидке і якісне виготовлення деталей меблевих виробів, що, в кінцевому рахунку, дає підприємству істотні конкурентні переваги.



Початковим етапом виготовлення деталі на верстаті з ЧПК є 3D-моделювання її форми в модулі CAD. На прикладі роботи з програмним пакетом ArtCAM компанії Delcam ми опишемо етапи проектування, моделювання і виготовлення декоративних елементів з використанням фотографій і авторських ескізів.

Один з можливих методів побудови 3D-моделі рельєфної поверхні, закладених у систему ArtCAM, заснований на використанні растрового зображення (фотографії) об'єкта (рис. 1, а). Для цього зображення об'єкта, отримане за допомогою цифрового фотоапарата або сканера, імпортується в систему, в якій кольорове зображення конвертується в монохромний вигляд (градації сірого кольору). В основі формування 3D-рельєфу покладено залежність висоти (глибини) точки рельєфу від освітленості поверхні. Через можливі похибки растрового зображення згенерований на його основі рельєф може успадкувати деякі дефекти (рис. 1, б).

Для доопрацювання неякісних з художнього погляду частин рельєфу й усунення дефектів 3D-поверхні використовується режим інтерактивного редагування за допомогою функції згладжування.



а

б

Рис. 1. Побудова рельєфної поверхні:

а – растрове зображення орнаменту; б – рельєф, отриманий у системі ArtCAM

При використанні складних графічних зображень для попередньої обробки растрових файлів доцільно використовувати дизайнерський пакет Adobe Photoshop. З його допомогою можна підвищити чіткість зображення, змінити контрастність і освітлити (або затемнити) окремі кольори.

Наступний етап – це розробка керуючих програм. Виготовлення декоративних елементів включає етап підготовки керуючих програм для трьохосового фрезерного верстата з ЧПК і безпосередньої обробки на верстаті.

Вихідними даними для розробки керуючих програм є: 3D-модель декоративного елемента (створена на попередньому етапі), розмір і форма заготовки, характеристики верстата з ЧПК і параметри наявного в розпорядженні інструменту (фрез).

Розробка керуючої програми включає в себе аналіз технологічності, а також комп'ютерну візуалізацію траєкторій переміщення інструменту і результату обробки моделі. Аналіз технологічності виробу полягає у виборі інструменту, призначення режимів різання і стратегій обробки. Діаметр сферичної фрези для чистової обробки вибирається

на основі мінімального радіуса западин рельєфу моделі. Тип і розміри інструменту для чорнкової обробки вибираються, зважаючи на потреби підготовки поверхні під чистову обробку і можливостей верстата (для максимальної продуктивності). Інструменти і режими обробки можуть бути обрані з наявних у базі даних ArtCAM [7].

Траєкторія інструменту задається на основі стратегій, реалізованих у системі ArtCAM. При цьому необхідно виходити з міркувань досягнення необхідної якості оброблюваної поверхні і продуктивності обробки. Після вибору траєкторії інструменту й визначення безпечної висоти ходу фрези генеруються керуючі програми для чорнкової та чистової обробки і проводиться їх симуляція на комп'ютері. Симуляція обробки дозволяє точно спрогнозувати, як буде виглядати виріб після чорнкової і чистової обробки.

Отже, спочатку необхідно вказати розміри майбутньої заготовки, враховуючи висоту профілю 10 мм, висота заготовки становить 20 мм (рис. 2).

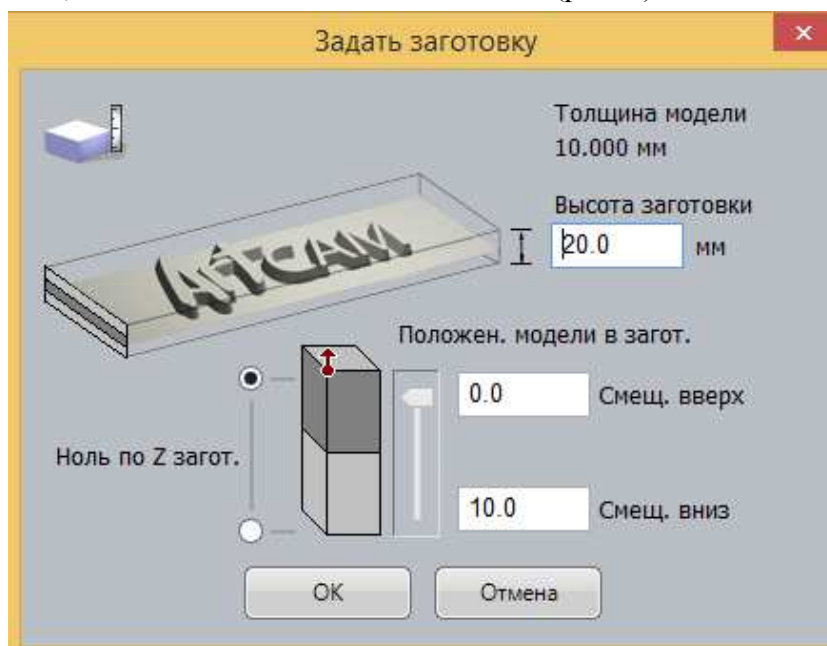
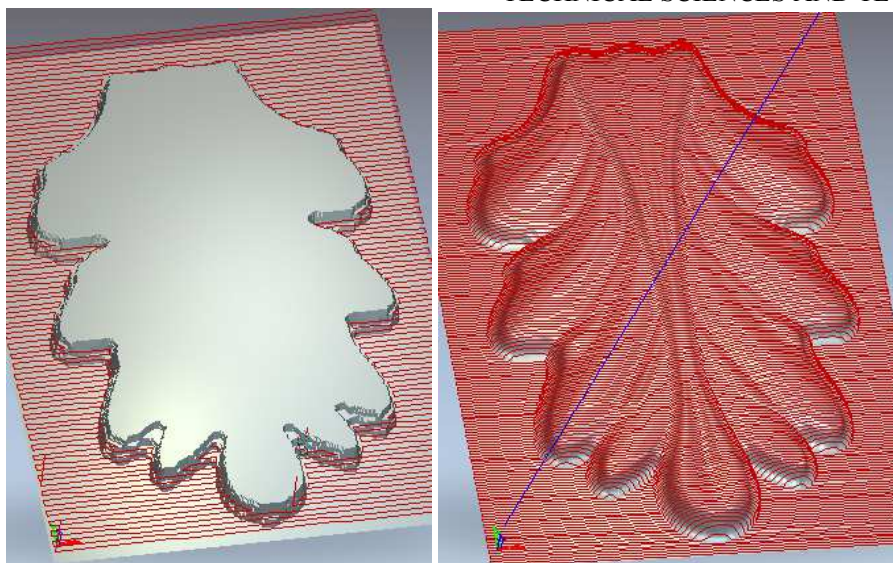


Рис. 2. Параметри заготовки в системі ArtCAM

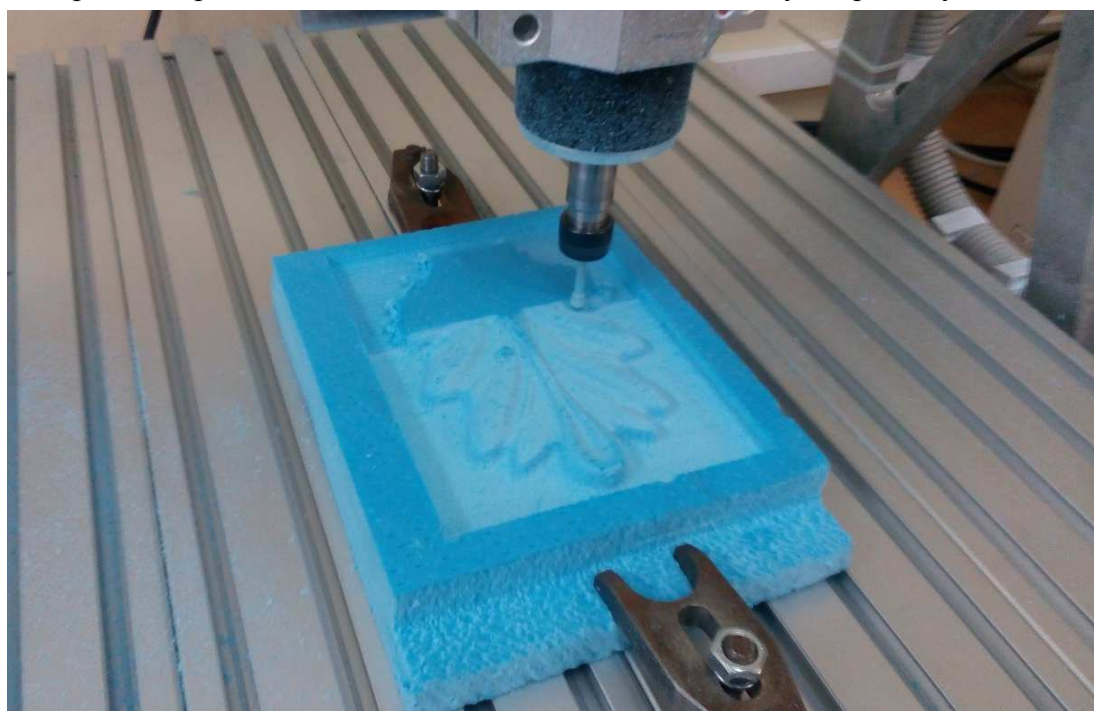
Інструмент і режими різання вибираються з бази даних ArtCAM: у разі чорнкової обробки з урахуванням отримання максимально допустимої продуктивності обробки і припуску під чистову обробку 0,1 мм вибираємо з каталогу кінцеву фрезу діаметром Ø6 мм, у разі чистової – сферичну кінцеву фрезу діаметром Ø3 мм. Частота обертання шпинделя верстата 15 тис. об./хв.

З реалізованих у програмі чотирьох стратегій для чорнкової і чистової обробки вибираємо стратегію «Растр» для чорнкової обробки і «Змейка по X» для чистової, які в цьому випадку забезпечують найбільшу продуктивність обробки. Необхідна шорсткість обробленого декоративного елемента забезпечується при чистовій обробці сферичної фрезою Ø3 мм. Далі задається точність виготовлення 0,01 мм і встановлюється площина безпеки руху інструменту. Для заготовки висотою 20 мм площину безпеки задаємо на 10–20 мм. Після завдання всіх параметрів обробки виконується автоматична генерація ЧПК-програми. Симуляція чорнкової і чистової обробки показана на рис. 3, а і 3, б.



*Рис. 3. Симуляція обробки рельєфу:  
а – чорнова обробка; б – чистова обробка*

Наступний етап – це виготовлення декоративного елемента на верстаті з ЧПК (рис. 4). Виготовлення барельєфа проводиться на трикоординатному фрезерному верстаті з ЧПК моделі CN 2 (рис. 5), який був розроблений на кафедрі технологій машинобудування та деревообробки Чернігівського національного технологічного університету.



*Рис. 4. Виготовлення декоративного елемента на верстаті з ЧПК*

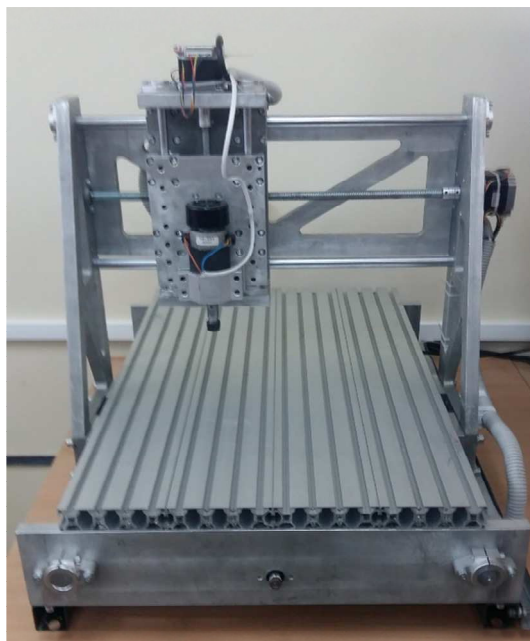


Рис. 5. Трикоординатний фрезерний верстат з ЧПК моделі CN 2

**Висновки відповідно до статті.** В умовах великого деревообробного підприємства фрезерний верстат з ЧПУ використовується лише як один з елементів технологічного процесу. При великому асортименті й значних обсягах випуску фасадів така «вузька спеціалізація» виробництва є цілком виправданою. Однак для малого підприємства, що працює з індивідуальними замовленнями або виготовляє дизайнерські меблі, логічно використовувати можливості фрезерного верстата з ЧПУ більш широко.

Фрезерний верстат з ЧПУ може з легкістю обробити край заготовки, надавши меблевому фасаді потрібну геометрію торця. Така обробка буде особливо ефективна, якщо фрезерний верстат з ЧПУ обладнаний системою автоматичної зміни інструменту.

Тривимірний рельєф передбачає обробку заготовки не тільки по довжині-ширині, але ще й по глибині. Тому зовнішній вигляд, якість, а також загальна міцність меблевого фасаду будуть залежати від висоти самого рельєфу. Так при звичайній товщині фасаду в 16 мм, висота рельєфу не повинна перевищувати 10-12 мм. По-перше, занадто «глибокий» візерунок буде не гармонійно виглядати. А по-друге, значно послабить міцність фасаду.

Велике значення має якість графічного ескізу. Здебільшого готові шаблони з «бібліотеки» тієї чи іншої САМ-програми (зокрема, ArtCAM) мають погану якість – виконаний за ним рельєф майже напевно зіпсує меблевий фасад. Хоча і якісний малюнок може погано виглядати на фасаді готового предмета меблів. Тут вже діють закономірності дизайну, і домагатися гармонійного поєднання елементів слід саме з позиції художнього стилю, а не тільки процесу виготовлення.

Значно підвищити якість 3D-рельєфу можна за допомогою фінішного забарвлення. Помічено, що темні тони підкреслюють глибину рельєфу. Тому для рельєфів з великим «перепадом висот» темну фарбу слід застосовувати з обережністю. У цьому випадку краще використовувати світлий фон - він також підкреслює рельєф, але не «обтяжує» його візуально.

#### Список використаних джерел

1. Герасименко О. А. Підготовка майбутніх учителів технологій і профільного навчання до використання САПР у проектуванні виробів із деревини / О. А. Герасименко, Ю. В. Фещук // Збірник наукових праць. Наукові записки Рівненського державного гуманітарного університету. – 2013. – Вип. 7 (50). – С. 41–45.

2. Стариков А. В. САПР мебели. Автоматизированное конструирование изделий корпусной мебели в САПР «bCAD для Мебельщика»: учебное пособие для студентов специальности 250303

«Технология деревообработки (специализация “Дизайн и конструирование изделий из древесины”») / А. В. Стариков. – Воронеж : Воронежский государственный университет, 2007. – 228 с.

3. Стариков А. В. САПР мебели. Автоматизированное конструирование изделий корпусной мебели в САПР «Базис-Конструктор-Мебельщик» : методич. указан. к выполнению лаб. работ для студентов спец. 250303 Технология деревообработки (специализация «Дизайн и проектирование изделий из древесины») / А. В. Стариков. – Воронеж : ВГЛТА, 2006. – 80 с.

4. Кривошеев А. С. Применение САПР в проектировании мебели / А. С. Кривошеев // Мир мебели. – 1998. – № 2 (13). – С. 24–26.

5. Бойко С. В. Моделивання фізико-механічних властивостей модифікованої деревини методом скінчених елементів / С. В. Бойко, А. М. Єрошенко // Технічні науки та технології: науковий журнал. – 2016. – № 2 (4). – С. 184–189.

6. Єрошенко А. М. Дослідження фізико-механічних властивостей деревинних композиційних матеріалів / А. М. Єрошенко, С. В. Бойко // Технічні науки та технології: науковий журнал. – 2016. – № 2 (4). – С. 199–204.

7. Применение системы ArtCAM для разработки и изготовления декоративных элементов [Электронный ресурс] // Мебельщик. – 2008. – № 3 (42). – Режим доступа : <http://forum.tecnocom-ug.ru/viewtopic.php?t=1568>.

### References

1. Herasyenko, O. A. & Feshchuk, Yu. V. (2013). Pidhotovka maibutnikh uchyteliv tekhnolohii i profilnoho navchannia do vykorystannia SAPR u proektuvanni vyrobiv iz derevyny [Preparation of future technology teachers and profile training for the use of CAD in the design of wood products]. *Zbirnyk naukovykh prats. Naukovi zapysky Rivnenskoho derzhavnoho humanitarnoho universytetu – Collection of scientific works. Scientific notes of the Rivne State Humanitarian University*, 7 (50), 41–45 [in Ukrainian].

2. Starykov, A. V. (2007). *SAPR mebeli. Avtomatizirovannoe konstruirovannye izdelii korpusnoi mebeli v SAPR “bCAD dlia Mebelshchika”* [CAD furniture. Automated design of cabinet furniture products in CAD “bCAD for Furniture”]. Voronezh: VHLTU [in Russian].

3. Starykov, A. V. (2006). *SAPR mebeli. Avtomatizirovannoe konstruirovannye izdelii korpusnoi mebeli v SAPR “Bazys-Konstruktor-Mebelshchik”* [CAD furniture. Automated design of case furniture products in CAD “Basis-Designer”]. Voronezh: VHLTA [in Russian].

4. Kryvosheev, A. S. (1998). Prymenenye SAPR v proektyrovanny mebeli [Application of CAD in furniture design]. *Myr mebeli – The world of furniture*, 2 (13), 24–26 [in Russian].

5. Boyko, S. V. & Yeroshenko, A. M. (2016). Modeliuvannia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei modyfikovanoi derevyny metodom skinchenykh elementiv [Modeling of physicomachanical properties of modified wood by the finite element method]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2 (4), 184–189 [in Ukrainian].

6. Yeroshenko, A. M. & Boyko, S. V. (2016). Doslidzhennia fizyko-mekhanichnykh Yeroshenko, A. M. & Boyko, S. V. (2016). Doslidzhennia fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei derevynnykh kompozytsiinykh materialiv [Study physical and mechanical properties of wood composites]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2 (4), 199–204 [in Ukrainian].

7. Primenenie sistemy ArtCAM dlia razrabotki i izgotovleniia dekorativnykh elementov [Application of the ArtCAM system for the development and production of decorative elements] (2008). *Mebelshchik – Furniture maker*, 3 (42). Retrieved from <http://forum.tecnocom-ug.ru/viewtopic.php?t=1568> [in Russian].

UDC 684.4.05

*Sergiy Boyko, Andriy Yeroshenko, Pavlo Ignatenko*

## PREPARATION OF FURNITURE FACADES MANUFACTURING BY MODERN CAM-SYSTEMS

**Urgency of the research.** Most of the work of scientists is devoted to the automated design of the products of the most cabinet furniture on the basis of various CAD. Very few works devoted precisely to designing and manufacturing of bulky reliefs on furniture facades with the help of CAD systems. Therefore, the introduction of CAD is precisely for the design of complex reliefs and shapes for furniture facades and wood products.

**Target setting.** Development and design of complex geometric form of relief for furniture facades and preparation of programs for CNC system ArtCAM.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In Ukraine, in the process of preparing reliefs for furniture facades and wood products, both general purpose design systems (ArtCAM, AutoCAD, T-Flex CAD, ArchiCAD, SolidWorks, DecoDesign, 3D Studio Max, etc.) and specialized design systems (Woody, bCAD, PRO100, K3-Furniture, etc.). Also, you should specify a number of software packages for the preparation of control programs for CNC machines such as ArtCAM, FeatureCAM, PowerMill, MasterCAM, etc.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Very few works devoted precisely to designing and manufacturing of bulky reliefs on furniture facades with the help of CAD systems. Therefore, the introduction of CAD is precisely for the design of complex reliefs and shapes for furniture facades and wood products.

**The research objective.** Methodology for manufacturing furniture facades complex geometric shapes and floral ornament using the software package, Autodesk ArtCam.

**The statement of basic materials.** Proposes a technique for preparing furniture facades of complex shapes and floral ornaments using Autodesk's ArtCam software package. The work describes the stages of designing, modelling and manufacturing decorative elements using photographs and author's sketches. A control program for processing a decorative element for a CNC milling machine has been developed. The choice of cutting modes and cutting tools is justified. The efficiency of using modern software and CNC machines for furniture production is considered.

**Conclusions** In a large woodworking company, the CNC milling machine is used only as one of the elements of the technological process. With a large assortment and large volumes of facade production, such a "narrow specialization" of production is highly justified. However, for a small enterprise that works with individual orders or manufactures design furniture, it is logical to use the capabilities of CNC milling machine more widely.

**Keywords:** furniture facade; CNC machine; decorative element; floral ornament; modeling; cutting modes.

Fig.:5. References: 7.

УДК 684.4.05

Сергей Бойко, Андрей Ерошенко, Павел Игнатенко

## ПОДГОТОВКА ПРОИЗВОДСТВА МЕБЕЛЬНЫХ ФАСАДОВ С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ САМ-СИСТЕМ

**Актуальность темы исследования.** Большая часть работ ученых посвящена автоматизированному проектированию корпусной мебели на основе различных САПР. Поэтому разработка методики подготовки производства мебельных фасадов сложной формы и растительных орнаментов с помощью программного пакета ArtCam компании Autodesk, а также обоснование режимов резания и режущего инструмента для обработки современных материалов является актуальным вопросом.

**Постановка проблемы.** На современном производстве, фасады кухонной и другой мебели преимущественно изготавливаются из современных материалов. Однако типовые варианты, не всегда соответствуют индивидуальному стилю. С использованием станков с ЧПУ можно легко изготовить резные фасады в своем, неповторимом стиле. Использование станков с ЧПУ является эффективным решением для имитации резьбы по дереву.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В Украине, в процессе подготовки рельефов для мебельных фасадов и изделий из древесины используются как конструкторские системы общего назначения (ArtCAM, AutoCAD, T-Flex CAD, ArchiCAD, SolidWorks, DecoDesign, 3D Studio Max), так и специализированные системы проектирования (Woody, bCAD, PRO100, K3-Мебель и т.д.). Также, следует указать ряд программных пакетов для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ такие как ArtCAM, FeatureCAM, PowerMill, MasterCAM и т. д.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Очень мало работ посвящено проектированию и изготовлению объемных рельефов на мебельных фасадах с помощью САПР. Поэтому внедрение САПР именно для проектирования сложных рельефов и форм для мебельных фасадов и изделий из древесины, является актуальным в настоящем.

**Постановка задачи.** Разработка методики изготовления мебельных фасадов сложных геометрических форм и растительного орнамента с использованием программного пакета Autodesk ArtCam.

**Изложение основного материала.** Предложена методика подготовки производства мебельных фасадов сложной формы и растительных орнаментов с помощью программного пакета ArtCam компании Autodesk. В работе описаны этапы проектирования, моделирования и изготовления декоративных элементов с использованием фотографий и авторских эскизов. Разработана управляющая программа обработки декоративного элемента для фрезерно-гравировального станка с ЧПУ. Обоснован выбор режимов резания и режущего инструмента. Рассмотрена эффективность использования современного программного обеспечения и станков с ЧПУ для мебельного производства.

**Выводы в соответствии со статьей.** В большой деревообрабатывающей компании фрезерный станок с ЧПУ используется лишь как один из элементов технологического процесса. С большим ассортиментом и большими объемами производства фасадов такая «узкая специализация» производства вполне обоснована. Однако для небольшого предприятия, которое работает с индивидуальными заказами или изготавливает корпусную мебель, необходимо использовать возможности фрезерного станка с ЧПУ более широко.

**Ключевые слова:** мебельный фасад; станок с ЧПУ; декоративный элемент; растительный орнамент; моделирование; режимы резания.

Рис.: 5. Библ.: 7.

**Бойко Сергій Васильович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Бойко Сергей Васильевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Boiko Sergiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Mechanical Engineering And Wood Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** svboyko.cstu@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8341-6973>

**Researcher ID:** G-9798-2014

**SCOPUS ID:** 56736198700

**Єрошенко Андрій Михайлович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Ерошенко Андрей Михайлович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Yeroshenko Andriy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of mechanical engineering and wood technology department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**Ігнатенко Павло Леонідович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування та деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Игнатенко Павел Леонидович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологий машиностроения и деревообработки, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, 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., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** ignatenkop11@i.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0967-1631>

**Researcher ID:** G-6310-2014

Наталія Буяльська, Олена Музиченко

## ВИКОРИСТАННЯ КАЛЬЦІЄВМІСНИХ ДОБАВОК У ВИРОБНИЦТВІ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Дефіцит надходження кальцію, одного з найважливіших елементів, виявлено у 90 % населення України. Забезпечити оптимальне споживання кальцію з раціоном за рахунок звичайних продуктів харчування важко.

**Постановка проблеми.** Збагачення хліба кальцієм з одночасним збереженням традиційних фізико-хімічних характеристик та покращенням органолептичних властивостей кінцевого продукту є актуальною проблемою, яка очікує вирішення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробленню функціональних продуктів харчування, як засобу профілактики та ліквідації дефіциту есенціальних речовин, присвячено роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних учених.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Більшість продуктів на ринку України, які збагачені кальцієм, – це молочні продукти та продукти дитячого харчування. Асортимент продукції, збагаченій кальцієм, для дорослого населення обмежений. Хліб, як масовий продукт споживання, що доступний всім верствам населення, потребує збагачення кальцієм.

**Постановка завдання.** Метою роботи було дослідження впливу кальцієвмісних добавок на органолептичні та фізико-механічні показники якості хлібобулочних виробів з пшеничної муки для підвищення харчової цінності хліба та створення виробів функціонального призначення.

**Виклад основного матеріалу.** Введення добавок лактату кальцію та «Ротавіт кальціум» у досліджених концентраціях (0,5; 1,0; 1,5 %) збільшує вміст кальцію у хлібі пшеничному відповідно в 2,1–4,7 та 2,6–8,0 рази. Досліджений вплив обраних добавок на якість тіста та готових виробів (органолептичні властивості, вологість, кислотність, пористість, крихкуватість, кількість води, яку поглинає м'якушка). Оптимальна концентрація добавки 1 % до маси борошна забезпечує приблизно 30 % від рекомендованого добового споживання кальцію.

**Висновки відповідно до статті.** Вміст кальцію у виробі з добавкою 1 % «Ротавіт кальціум» збільшується у 6,6 рази, що приводить до збалансованості його співвідношення з іншими мінеральними речовинами і, як наслідок, при цьому покращуються органолептичні та фізико-хімічні характеристики тіста та готового виробу.

**Ключові слова:** кальцієвмісні добавки; макроелементи; хлібобулочні вироби; функціональний харчовий продукт. Рис.: 1. Табл.: 5. Бібл.: 16.

**Актуальність теми дослідження.** У сучасному світі поряд зі значними досягненнями науки та техніки спостерігається різке погіршення екологічної ситуації. Харчування стає одним із найважливіших чинників, що здатний підтримати здоров'я людини в умовах інтенсифікації ритму життя та дії несприятливих факторів навколишнього середовища.

Одним з основних макроелементів, що беруть участь у фізіологічному процесі росту і розвитку організму, є кальцій. Як один із головних компонентів кісток, кальцій необхідний для мінералізації кісткової тканини, він відіграє важливу роль у багатьох внутрішньо- і позаклітинних процесах, у тому числі в скоротливій функції серцевого і скелетних м'язів, нервової провідності, регуляції активації ферментів, дії багатьох гормонів тощо. Дефіцит надходження кальцію виявлено у 90 % населення України. Нестача кальцію – одне з найбільш розповсюджених порушень обміну речовин, що супроводжується остеопорозом, недокрив'ям, схильністю до застуд, алергії тощо [1–3].

**Постановка проблеми.** Забезпечити оптимальне споживання кальцію з раціоном за допомогою звичайних продуктів харчування важко, і це порушує питання про необхідність створення продуктів функціонального призначення, додатково збагачених цим макроелементом. Хліб можна вважати перспективним продуктом для збагачення завдяки тому, що він є загальноживим і доступним за ціною. Саме на основі хліба легко створити функціональний продукт з додаванням різноманітних біологічно-активних добавок, які, на відміну від традиційного продукту, спрямовані на оздоровлення та профілактику основних захворювань.

За рахунок споживання традиційних хлібобулочних виробів потреба в кальції покривається лише на 9,0–11,5 %. Збагачення хліба кальцієм у безпечній для здоров'я людини формі з одночасним збереженням традиційних фізико-хімічних характеристик та покращенням органолептичних властивостей кінцевого продукту, гарантованим фізіо-



логічно оптимальним вмістом та доброю засвоюваністю є своєчасною та актуальною проблемою, яка очікує вирішення [4–7].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Перший проект зі створення функціональних продуктів був розроблений у Японії в 1984. Нині у багатьох країнах з'явилися програми зі створення таких харчових продуктів. У Національному університеті харчових технологій та Київському національному торговельно-економічному університеті займаються розробкою різних груп кондитерських виробів функціонального призначення (борошняні, цукристі, пастило-мармеладні, шоколадні вироби), увага спрямована на розроблення нових борошняних кондитерських виробів для людей, що хворіють на цукровий діабет, целіакію, фенілкетонурію, діарею, хворобу Кешена, залізодефіцитну анемію [8].

У рецептуру хлібних виробів включають різні кальцієві сполуки: хімічно осаджену крейду, кальцію хлорид, цитрат, глюконат, лактат тощо. Також додають тваринну та рослинну сировину, наприклад, дрібнодисперсний порошок зі шкаралупи курячих яєць, черепашки молюсків, екстракт кропиви тощо [9; 10]. Проблемі збагачення продуктів харчування присвячено багато робіт вітчизняних та зарубіжних учених. Розвитку теоретичних основ і практичних аспектів розроблення та використання функціональних продуктів харчування як засобу профілактики та ліквідації дефіциту есенційних речовин присвячено праці вітчизняних та зарубіжних науковців: А. М. Дорохович, Л. Ю. Арсеньєва, В. І. Дробот, К. Г. Юргачева, Л. В. Капрельянц, Г. М. Лисюк, Г. О. Сімахін, І. В. Сирохман, А. І. Українець, А. А. Кочеткова, З. Г. Скобельская, К. Н. Honikel, S. Gorinstein, T. Mizota, B. Minfil, F. Meiners, Y. Miler, K. Kreiten, M. Peterson, A. Johnson та ін. [11; 12].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У наш час існує багато способів збагачення хлібобулочних виробів макро- та мікронутрієнтами. Але більшість продуктів на ринку України, які збагачені кальцієм, – це молочні продукти та продукти дитячого харчування. Асортимент продукції, збагаченій кальцієм, для дорослого населення обмежений. Хліб, як масовий продукт споживання, що доступний всім верствам населення, потребує збагачення кальцієм. Разом з цим є проблема поганої засвоюваності кальцію з хліба, що пов'язано з його співвідношенням з іншими мінеральними речовинами, зокрема фосфором, магнієм. В Україні концепція створення і впровадження функціональних оздоровчих продуктів урядом поки не затверджена, незважаючи на те, що проблема оздоровлення нації стоїть найбільш гостро [8]. Тому пошук нових кальцієвих добавок при виробництві хлібобулочних виробів та розробка нових видів продукції, що мають високу якість та підвищену харчову цінність, є проблемою, що потребує вирішення.

**Мета статті** – дослідження впливу кальцієвих добавок на органолептичні та фізико-механічні показники якості хлібобулочних виробів з пшеничної муки для підвищення харчової цінності хліба та створення виробів функціонального призначення.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом збагачення був вибраний хліб білий пшеничний масою 0,8 кг формовий із пшеничного борошна другого сорту.

Якість отриманого хліба оцінювали дослідженням пробної лабораторної випічки тіста, приготованого з борошна другого сорту, солі, води питної, дріжджів, кальцієвих добавок («Ротавіт кальціум», реєстраційне свідоцтво: № 05.03.02-03/29101 з 18.04.2014 р. до 18.04.2019 р. та традиційної добавки лактату кальцію). Кальцієві добавки вносили при замісі тіста в концентраціях 0,5 % (зразок 1); 1,0 % (зразок 2); 1,5 % (зразок 3), заміщуючи частину борошна.

Готові зразки виробів пшеничного хліба з додаванням кальцієвої добавки «Ротавіт кальціум» зображені на рисунку.



Рис. 1. Зовнішній вигляд випечених зразків з додаванням добавки «Ротавіт кальцій» різних концентрацій:

1 – контрольний зразок без добавки, 2 – 0,5 % добавки, 3 – 1,0 % добавки, 4 – 1,5 % добавки

У пшеничному хлібі зазвичай міститься 20-30 мг/100 г кальцію. Дозування добавок обирали відповідно «Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії» [13] з урахуванням вмісту основного елемента в добавці та його втрат при веденні технологічного процесу. Фізіологічна норма кальцію для дорослого населення становить 1100 мг/добу для жінок та 1200 мг/кг для чоловіків. На думку спеціалістів із гігієни харчування, харчові продукти мають збагачуватися мікронутрієнтами до рівня, що не перевищує 50 % добової потреби в окремому мікронутрієнті внаслідок вживання середньої добової кількості продукту. При визначенні концентрації добавки враховували норму споживання пшеничного хліба, затверджену Кабінетом Міністрів України для розрахунку споживчої корзини [14], яка на сьогодні становить 170 г/добу.

Вміст кальцію в готових виробих після попередньої мінералізації визначали комплексонометричним методом [15], заснованим на утворенні в лужному середовищі комплексної сполуки елемента з трилоном Б.

Результати дослідження представлені в табл. 1.

Таблица 1

Вміст кальцію у випечених виробих

Вміст добавки у виробих	Вміст кальцію у виробих, мг/100 г продукту	
	«Ротавіт кальцій»	Лактат кальцію
Контроль (без добавки)	28,3 ± 0,2	28,3 ± 0,2
0,5 %	72,6 ± 0,2	58,9 ± 0,2
1,0 %	187,7 ± 0,4	96,2 ± 0,2
1,5 %	226,8 ± 0,5	133,1 ± 0,1

Введення добавок лактату кальцію та «Ротавіт кальцій» у вказаних концентраціях збільшує вміст кальцію у хлібі пшеничному відповідно в 2,1–4,7 та 2,6–8,0 раза. Таким чином, з урахуванням добової дози споживання хлібу пшеничного та норм фізіологічних потреб кальцію, оптимальною є концентрація добавки 1 % (споживання за добу 170 г пшеничного хлібу з добавкою «Ротавіт кальцій» передбачає споживання кальцію приблизно 300 мг або 30 % від рекомендованого добового споживання). Крім цього, обрана кальцієвмісна добавка «Ротавіт кальцій» містить у своєму складі речовини, що регулюють обмін кальцію і фосфору в організмі, підвищують його абсорбцію в кишечнику.

Важливо було також дослідити, як обрані добавки впливають на якість тіста та готових виробів. Форму хліба, колір і зовнішній вигляд, смак і запах оцінювали органолептичним способом 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), крихкуватістю та кількістю води, яку поглинає м'якушка, визначали за методикою [16].

Зведені дані проведених досліджень якості тіста з додаванням кальцієвмісних добавок «Ротавіт кальцій» та лактат кальцію різних концентрацій представлені в табл. 2, 3 відповідно.

*Показники якості тіста з використанням добавки «Ротавіт кальцій»*

Показники	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
<b>Показники якості тіста</b>				
Вологість тіста, %	45,1	45,3	45,9	46,4
Температура початкова, °С	26,5	26,5	26,5	26,5
Температура кінцева, °С	29,7	29,3	29,5	29,5
Кислотність початкова, град	2,5	2,6	2,7	2,9
Кислотність кінцева, град	3,1	3,3	3,6	3,1
Підйомна сила тіста, хв	19,0	16,0	15,0	15,0
<b>Органолептичні характеристики тіста:</b>				
колір	жовтуватий	з жовтим відтінком	світлий	найбільш світлий
смак	властивий цьому виробу	ледь помітний смак лимону	ледь помітний смак лимону	яскраво виражений смак лимону
запах	кислуватий	кислуватий з ледь помітним запахом цитрусу	кислуватий з запахом цитрусу	яскраво виражений лимонний запах
консистенція	еластична, однорідна	еластична, однорідна	еластична, однорідна	еластична, однорідна
<b>Параметри бродіння тіста:</b>				
тривалість, хв	170	170	170	170
температура, °С	35	35	35	35
Маса сформованих тістових заготовок, г	770	804	826	835
<b>Параметри вистоювання т/з:</b>				
тривалість, хв	50	50	50	50
температура, °С	35	35	35	35
<b>Параметри випікання:</b>				
тривалість, хв	55	55	55	55
температура, °С	220	220	220	220

Таблиця 3

*Показники якості тіста з використанням добавки лактат кальцію*

Показники	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
<b>Показники якості тіста</b>				
Вологість тіста, %	45,1	45,2	45,6	45,9
Температура початкова, °С	26,5	26,5	26,5	26,5
Температура кінцева, °С	29,3	29,4	29,1	29,6
Кислотність початкова, град	2,5	2,5	2,6	2,7
Кислотність кінцева, град	3,1	3,1	3,2	3,3
Підйомна сила тіста, хв	19,0	16,0	17,0	17,0
<b>Органолептичні характеристики тіста:</b>				
колір	жовтуватий	з жовтим відтінком	світлий	найбільш світлий
смак	властивий цьому виробу	властивий цьому виробу	властивий цьому виробу	властивий цьому виробу
запах	кислуватий	кислуватий	кислуватий	кислуватий
консистенція	еластична, однорідна	еластична, однорідна	еластична, однорідна	еластична, однорідна
<b>Параметри бродіння тіста:</b>				
тривалість, хв	170	170	170	170
температура, °С	35	35	35	35
Маса сформованих тістових заготовок, г	770	811	832	825
<b>Параметри вистоювання т/з:</b>				
тривалість, хв	50	50	50	50
температура, °С	35	35	35	35
<b>Параметри випікання:</b>				
тривалість, хв	55	55	55	55
температура, °С	220	220	220	220

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Зі збільшенням концентрації добавок вологість тіста збільшується в порівнянні з контрольним зразком без добавки. Це говорить про те, що досліджені кальцієві добавки змінюють структуру тіста, а саме розріджують його. Але збільшення вологості тіста сприяє тривалішому зберіганню та меншому черствінню скоринки.

Досліджувані добавки збільшують підйомну силу та газоутворювальну здатність тіста. Це свідчить про те, що добавка стимулює процес бродіння, і в результаті це дає можливість скоротити технологічний процес, що є важливим на виробництві.

Збільшення вмісту добавки «Ротавіт кальцій» призводить до зростання початкової кислотності зразків (порівняно з контрольним зразком). Це можна пояснити тим, що в досліджуваній добавці, крім основних речовин, присутні й допоміжні: лимонна кислота (як підсилювач смаку), крохмаль кукурудзяний, підсолоджувачі, стабілізатори, що є джерелом живлення для бактерій спиртового бродіння, у результаті чого вони активізуються та пришвидшують процес бродіння тіста, сприяють накопиченню кислотності в ньому. Лимонна кислота обумовлює зниження рН, сприяє швидкому набухання і пептизації білків тіста. Під дією амілаз з крохмалю у борошні безперервно утворюється мальтоза. Мальтоза в тісті є основним цукром, що забезпечує хід всього технологічного процесу виробництва хліба. Цим пояснюється більш високий показник кислотності в дослідних зразках. Дозування добавки лактат кальцію підвищує початкову кислотність тіста з 1,0 %, при дозуванні 0,5 % – зміни практично не відчутні.

Кінцева кислотність тіста при додаванні добавки «Ротавіт кальцій» підвищується, крім зразка № 3 (дозування 1,5 %). Це можна пояснити тим, що при використанні добавки нагромаджуються продукти, які пригнічують процеси бродіння. Оптимальною для прискорення процесу бродіння є концентрація добавки 1,0 %. Додавання лактату кальцію також підвищує кінцеву кислотність, але, в порівнянні з добавкою «Ротавіт кальцій», незначно.

Зведені дані показників якості готових виробів з додаванням кальцієвісних добавок «Ротавіт кальцій» та лактат кальцію представлені в табл. 4, 5 відповідно.

Таблиця 4

*Показники якості готових виробів при використанні кальцієвісної добавки «Ротавіт кальцій»*

Зразок	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Відсоток дозування добавки	-	0,5	1,0	1,5
<b>Органолептичні показники:</b>				
Колір і стан поверхні	Гладенька, рівномірна	Гладенька, рівномірна, присутні невеличкі тріщини	Гладенька, рівномірна, присутні невеличкі тріщини	Гладенька, рівномірна, присутні невеличкі тріщини
Колір і стан м'якушки	Сіра, пориста	Сіра, пориста	Сіра, пориста	Пориста, світліша
Смак	Властивий цьому виду виробів, з ледь помітним кислуватим присмаком	Властивий цьому виду виробів, з ледь помітним присмаком лимону	Властивий цьому виду виробів, з легким присмаком лимону	Властивий цьому виду виробів, з вираженим смаком лимону
Запах	Властивий цьому виду виробів	Властивий цьому виду виробів, з ледь помітним запахом лимону	Властивий цьому виду виробів, з відчутним запахом лимону	Властивий цьому виду виробів, з яскраво вираженим запахом лимону
Маса готового виробу, г	673	704	735	725
Вологість м'якушки, %	44,3	43,7	43,3	42,9
Кислотність м'якушки, град	3,3	3,6	4,0	3,5
Пористість м'якушки, %	64,7	67,4	69,0	67,9
Крихкуватість м'якушки, %	9,96	12,70	13,73	17,15
Намокаємість, %	102,17	268,55	289,02	246,76

*Показники якості готових виробів при використанні добавки лактат кальцію*

Зразок	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
Колір і стан поверхні	Гладенька, рівномірна	Гладенька, рівномірна	Гладенька, рівномірна, присутні невеличкі тріщини	Гладенька, рівномірна, присутні невеличкі тріщини
<b>Органолептичні показники:</b>				
Колір і стан м'якушки	Сіра, пориста	Сіра, пориста	Сіра, світла	Пориста, світліша
Смак	Властивий даному виду виробів	Властивий даному виду виробів	Властивий даному виду виробів	Властивий даному виду виробів
Запах	Властивий цьому виробу без сторонніх запахів	Властивий цьому виробу без сторонніх запахів	Властивий цьому виробу без сторонніх запахів	Властивий цьому виробу без сторонніх запахів
Маса готового виробу, г	673	684	692	701
Вологість м'якушки, %	44,3	44,2	44,0	43,7
Кислотність м'якушки, град	3,3	3,4	3,6	3,7
Пористість м'якушки, %	64,7	65,0	66,7	68,45
Крихкуватість м'якушки, %	9,96	11,80	13,08	16,81
Намокаємість, %	102,17	132,97	175,98	243,12

За результатами дегустації встановлено, що запах та смак готових виробів з використанням обраних кальцієвмісних добавок не погіршується.

При додаванні кальцієвмісних добавок та збільшенні їх концентрації вологість м'якушки в порівнянні з контрольним зразком знижується. Це говорить про те, що добавки змінюють структуру тіста, а саме білків, збільшуючи процес їх денатурації та гідратаційної здатності (білки зв'язують більше води).

Кислотність готових виробів збільшується при додаванні у досліджувані зразки кальцієвмісних добавок «Ротавіт кальцій» та лактат кальцію, порівняно з контролем. Це дає змогу позитивно вплинути на фізико-хімічні властивості та смак хліба, продовжити термін зберігання і зупинити розвиток патогенної мікрофлори.

Досліджені добавки позитивно впливають на пористість м'якушки. Зі збільшенням відсотка дозування кальцієвмісних добавок у хліб крихкуватість збільшується. Тобто великі концентрації добавок призводять до погіршення стану м'якушки і введення їх є недоцільним.

Також нами було визначено кількість води, яку поглинає м'якушка хліба. Поглинаюча здатність зростає, внаслідок цього м'якушка стає менш твердою, збільшується її еластичність. В процесі зберігання м'якушка здатна поглинати більшу кількість води, що призводить до підвищення терміну зберігання готового виробу. Завдяки цьому термін зберігання хлібобулочних виробів можна продовжити без додавання цільових харчових добавок.

Важливим також було визначити, через який період часу почнуть з'являтися перші ознаки псування хлібу з обраними добавками. Прояви пліснявіння хліба з використанням 1 % добавки «Ротавіт кальцій» при зберіганні за температури 22...24 °C у харчовій плівці було помічено через 13 діб після випікання, з добавкою лактату кальцію – через 9 діб. Для контрольного зразка хліба пшеничного цей час становив 4 доби. Таким чином, додавання «Ротавіт кальцій» збільшує термін зберігання хліба в 3,25 рази.

**Висновки відповідно до стгті.** Науково обґрунтовано й експериментально доведено доцільність застосування кальцієвмісної добавки «Ротавіт кальцій» у технології хлібобулочних виробів з метою покращення їхньої якості, підвищення харчової цінності і надання готовим виробам функціональних властивостей. За результатами фізико-хімічних та органолептичних досліджень було встановлено, що досліджувані зразки із

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вмістом добавки «Ротавіт кальцій» у кількості 1 % до маси борошна мають найкращі показники якості. При цьому вміст кальцію збільшується у 6,6 раза, що приводить до збалансованості його співвідношення з іншими мінеральними речовинами і, як наслідок, кращого засвоєння організмом.

**Список використаних джерел**

1. *Торхова Т.* Кальцій як життєво важливий макроелемент / Т. Торхова // Фармацевт Практик. – 2014. – № 2. – С. 50–51.
2. *Спиричев В. Б.* Витамины и минеральные вещества в комплексной профилактике и лечении остеопороза / В. Б. Спиричев // Вопросы питания. – 2003. – № 1. – С. 34–43.
3. Розробка нових продуктів для профілактики дефіциту кальцію / Ю. П. Крижова, І. І. Шевченко, М. А. Морозова, С. В. Коваленко // Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. – 2017. – Т. 19, № 80. – С. 48–51.
4. *Капрельянц Л. В.* Функціональні продукти / Л. В. Капрельянц, К. Г. Юргачова. – Одеса : Друк, 2003. – 312 с.
5. *Арсеньєва Л. Ю.* Збагачення пшеничного хліба мікронутрієнтами / Л. Ю. Арсенєва, Л. О. Герасименко, М. М. Антонюк, В. Ф. Доценко // Наукові праці НУХТ. – 2003. – № 14. – С. 51–53.
6. *Арсеньєва Л. Ю.* Проблема нестачі мікронутрієнтів у харчуванні та шляхи її вирішення / Л. Ю. Арсенєва, В. І. Дробот, Л. О. Герасименко, М. М. Антонюк // Перспективні напрями розвитку харчової промисловості : сб. ст. науч.-практ. конф. / ОЦНТИ. – Одеса, 2003. – С. 7–9.
7. *Пересічний М. І.* Технологія продуктів харчування функціонального призначення / М. І. Пересічний, М. Ф. Кравченко, Д. В. Федорова та ін. – К. : Національний торговельно-економічний університет, 2008. – 718 с.
8. *Дорохович А. М.* Продукти харчування функціонального призначення [Електронний ресурс] / А. М. Дорохович, В. В. Дорохович, В. І. Оболкіна, О. О. Кохан (Гавва) // Electronic National University of Food Technologies Institutional Repository. – Режим доступу : <http://dSPACE.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/2875>.
9. *Вотинова Е. М.* Изучение влияния кальцийсодержащих добавок на потребительские свойства хлебобулочных изделий функционального назначения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15 / Е. М. Вотинова ; ГОУ ВПО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности». – Кемерово, 2008. – 20 с.
10. *Яковлев В. В.* Применение кальцийсодержащих добавок в хлебопечении : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.07 / В. В. Яковлев ; Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. – Санкт-Петербург, 2004. – 16 с.
11. *Дорохович В. В.* Наукове обґрунтування і розроблення технологій борошняних кондитерських виробів спеціального дієтичного споживання : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.16 / В. В. Дорохович ; Київський національний торговельно-економічний університет. – К., 2010. – 38 с.
12. *Капрельянц Л. В.* Использование лактата кальция в хлебопекарном производстве / Л. В. Капрельянц, О. В. Дышкатнюк // Хлебопродукты. – 2000. – № 8. – С. 26–27.
13. *Про затвердження Норм фізіологічних потреб населення України в основних харчових речовинах та енергії [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства охорони здоров'я України від 03.09.2017 р. № 1073 // Інформаційно-пошукова система «Законодавство України». – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17>.*
14. *Про затвердження наборів продуктів харчування, наборів непродовольчих товарів та наборів послуг для основних соціальних і демографічних груп населення [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 11 жовтня 2016 р. № 780 // Інформаційно-пошукова система «Законодавство України». – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/780-2016-%D0%BF>.*
15. *Химический состав пищевых продуктов / под ред. И. М. Скурихина.* – М. : Агропромиздат, 1987. – 360 с.
16. *Лабораторний практикум з технології хлібопекарського та макаронного виробництв / за ред. В. І. Дробот.* – К. : Центр навчальної літератури, 2006. – 341 с.

### References

1. Torkhova, T. (2014). Kaltsii yak zhyttievo vazhlyvyi makroelement [Calcium as a vital macroelement]. *Farmatsevt Praktyk – Pharmacist Practitioner*, 2, 50–51 [in Ukrainian].
2. Spirichev, V.B. (2003). Vitaminy i mineralnye veshchestva v kompleksnoi profilaktike i lechenii osteoporoza [Vitamins and minerals in the complex prevention and treatment of osteoporosis]. *Voprosy pitaniia – Nutrition issues*, 1, 34–43 [in Russian].
3. Kryzhova, Yu.P., Shevchenko, I.I., Morozova, M.A., Kovalenko, S.V. (2017). Rozrobka novykh produktiv dlia profilaktyky defitsytu kaltsiiu [Development of new products for the prevention of calcium deficiency]. *Naukovyi visnyk LNUVMB imeni S.Z. Gzhytskoho – Scientific Messenger LNUVMB*, 80(19), 48–51 [in Ukrainian].
4. Kapreliants, L. V. & Iorhachova, K. H. (2003). *Funktsionalni produkty [Functional products]*. Odesa: Druk [in Ukrainian].
5. Arsenieva, L. Yu., Herasymenko, L. O., Antoniuk, M. M. & Dotsenko, V. F. (2003). Zbahachennia pshenychnoho khliba mikronutriientamy [Enrichment of wheat bread with micronutrients]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii – Scientific Works of National University of Food Technologies*, 14, 51–53 [in Ukrainian].
6. Arsenieva, L. Yu., Drobot, V. I., Herasymenko, L. O. & Antoniuk, M. M. (2003). *Problema nestachi mikronutriientiv u kharchuvanni ta shliakhy yii vyrishennia [The problem of deficiency of micronutrients in the diet and ways to solve it]*. Naukovo-praktychna konferentsiia “Perspektivnye napravleniia razvitiia pishchevoi promyshlennosti” – “Perspective directions of development of food industry”. Odessa: OTcNTI [in Ukrainian].
7. Peresichnyi, M. I., Kravchenko, M. F., Fedorova, D. V., Kandalei, O. V., Peresichna, S. M., Shevchenko, O. V. & Sobko, A. B. (2008). *Tekhnolohiia produktiv kharchuvannia funktsionalnoho pryznachennia [Technology of food products for functional purposes]*. Kyiv: Natsionalnyi torhivelno-ekonomichnyi universytet [in Ukrainian].
8. Dorokhovych, A. M., Obolkina, V. I., Dorokhovych, V. V., Kokhan (Havva), O. O. (2004). Produkty kharchuvannia funktsionalnoho pryznachennia [Food products for functional purposes]. *Electronic National University of Food Technologies Institutional Repository*. Retrieved from <http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/handle/123456789/2875>.
9. Votnova, E. M. (2008). *Izuchenie vlianiia kaltsiisoderzhashchikh dobavok na potrebitelskie svoistva khlebobulochnykh izdelii funktsionalnogo naznacheniia [The study of the influence of calcium-containing additives on the consumer properties of the bakery products of functional purpose]*. (Doctor’s thesis). GOU VPO «Kemerovo Technological Institute of Food Industry», Kemerovo [in Russian].
10. Iakovlev, V. V. (2004). *Primenenie kaltsiisoderzhashchikh dobavok v khlebopechenii [Use of calcium-containing supplements in bread making]*. (Doctor’s thesis). SHUNPT, Petersburg [in Russian].
11. Dorokhovych, V. V. (2010). *Naukove obgruntuvannia i rozroblennia tekhnolohii boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv spetsialnoho diietynoho spozhyvannia [The scientific substantiation and development of technologies of flour special dietary consumption confections]*. (Doctor’s thesis). Kyivskiy natsionalnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet, Kyiv [in Ukrainian].
12. Kapreliant, L. V., Dyshkatniuk, O. V. (2000). Ispolzovanie laktata kaltsiia v khlebopekarnom proizvodstve [Use of calcium lactate in bakery production]. , 8, 26–27 [in Russian].
13. Nakaz Ministerstva okhorony zdorovia Ukrainy Pro zatverdzhennia Norm fiziolohichnykh potreb naselennia Ukrainy v osnovnykh kharchovykh rehovynakh ta enerhii [On the approval of norms of the physiological needs of the population of Ukraine in basic food substances and energy]. (2017). *zakon2.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17>.
14. Pro zatverdzhennia naboriv produktiv kharchuvannia, naboriv neprodovolchykh tovariv ta naboriv posluh dlia osnovnykh sotsialnykh i demohrafichnykh hrup naselennia [Order of the Ministry of Health of Ukraine On the approval of sets of food items, sets of non-food items and service kits for the main social and demographic groups of the population]. (October 11, 2016). *zakon3.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/780-2016-%D0%BF>. [in Ukrainian].
15. Skurikhina, I. M. (1987). *Khimicheskii sostav pishchevykh produktov [Chemical composition of food products]*. Moscow: Agropromizdat [in Russian].

16. Drobot, V. I. (Eds.). (2006). *Laboratornyi praktykum z tekhnolohii khlibopekarskoho ta makaronnoho vyrobnytstv: navchalnyi posibnyk [Laboratory handbook on Bakery and Macaroni Technology]*. Kyiv: Tsentr navchalnoi literatury [in Ukrainian].

UDK 664.66.022.39

Nataliia Buialska, Olena Muzychenko

## USE OF CALCIUM-CONTAINING ADDITIVES IN THE PRODUCTION OF BAKERY PRODUCTS OF FUNCTIONAL PURPOSE

**Urgency of the research.** The deficiency of calcium intake, which are one of the most important elements, was revealed in 90% of the population of Ukraine. It is difficult to provide optimal calcium intake when consuming conventional food.

**Target setting.** The enrichment of bread with calcium, with maintaining the traditional physico-chemical characteristics and improving the organoleptic properties of the final product, is an actual problem that awaits solution.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Works of many domestic and foreign scientists are devoted to the development of functional food products as a means of preventing and eliminating deficiency of essential nutrients.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Most of the products on the Ukrainian market, enriched with calcium, are dairy products and foods for children. The assortment of calcium-enriched products for the adult population is limited. Bread, as a mass product of consumption, which is accessible to all sections of the population, should be enriched with calcium.

**The research objective.** The aim of the work was to investigate the effect of calcium-containing additives on organoleptic and physico-mechanical quality indicators of bakery products from wheat flour for improving the nutritional value of bread and producing functional food products.

**The statement of basic materials.** The addition of additives – calcium lactate and “Rotavir calcium” in the investigated concentrations (0.5; 1.0; 1.5 %) increases the calcium content in wheat bread at 2.1–4.7 and 2.6–8.0 times, respectively. The influence of selected additives on the quality of dough and finished products (organoleptic properties, humidity, acidity, porosity, the amount of water which is absorbed by the crumb of the loaf) was investigated. The optimal 1 % concentration of the additive to flour provides approximately 30 % of the recommended daily calcium intake.

**Conclusions.** The calcium content in products with 1 % of “Rotavit calcium” increases at 6.6 times, which leads to a balance of its ratio with other minerals, and as a result, the organoleptic and physicochemical characteristics of dough and finished product are improved.

**Keywords:** calcium-containing additives; macroelements; bakery products; functional food product.

Fig.: 1. Table: 5. References: 16.

УДК 664.66.022.39

Наталья Буяльская, Елена Музыченко

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИХ ДОБАВОК В ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Актуальность темы исследования.** Дефицит поступления кальция, одного из важнейших элементов, выявлен у 90 % населения Украины. Обеспечить оптимальное потребление кальция с рационом за счет обычных продуктов питания трудно.

**Постановка проблемы.** Обогащение хлеба кальцием, с одновременным сохранением традиционных физико-химических характеристик и улучшением органолептических свойств конечного продукта, является актуальной проблемой, которая ожидает решения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Разработке функциональных продуктов питания, как средства профилактики и ликвидации дефицита эссенциальных веществ, посвящены работы многих отечественных и зарубежных ученых.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Большинство продуктов на рынке Украины, обогащенные кальцием – это молочные продукты и продукты детского питания. Ассортимент обогащенной кальцием продукции для взрослого населения ограничен. Хлеб, как массовый продукт потребления, доступный всем слоям населения, требует обогащения кальцием.

**Постановка задачи.** Целью работы было исследование влияния кальцийсодержащих добавок на органолептические и физико-механические показатели качества хлебобулочных изделий из пшеничной муки для повышения пищевой ценности хлеба и создание изделий функционального назначения.

**Изложение основного материала.** Введение добавок лактата кальция и «Ротавит кальциум» в исследованных концентрациях (0,5; 1,0; 1,5 %) увеличивает содержание кальция в хлебе пшеничном соответственно в 2,1– 4,7 и 2,6–8,0 раз. Исследовано влияние выбранных добавок на качество теста и готовых изделий (органолептические свойства, влажность, кислотность, пористость, крошковатость, количество воды, которое поглощает мякиш). Оптимальная концентрация добавки 1 % к массе муки обеспечивает примерно 30 % от рекомендованного суточного потребления кальция.

**Выводы в соответствии со статьей.** Содержание кальция в изделиях с добавлением 1 % «Ротавит кальциум» увеличивается в 6,6 раза, что приводит к сбалансированности его соотношения с другими минеральными веществами, при этом улучшаются органолептические и физико-химические характеристики теста и готового изделия.



**Ключевые слова:** кальційсодержащие добавки; макроэлементы, хлебобулочные изделия; функциональный пищевой продукт.

*Рис.: 1. Табл.: 5. Библ.: 16.*

**Буяльська Наталія Павлівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Буяльская Наталья Павловна** – кандидат технических наук, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Buialska Nataliia** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6800-5604>

**ResearcherID:** G-2935-2014

**Музиченко Олена Андріївна** – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Музыченко Елена Андреевна** – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Muzychenko Olena** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** elena\_muzy4enko@ukr.net

Вероніка Єфімова, Тетяна Пилипенко, Олександра Нікора, Поліна Невпряга

## РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ ЕМУЛЬСІЙНОГО КОСМЕТИЧНОГО ПРОДУКТУ НА ОСНОВІ КОЛОЇДНИХ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ

**Актуальність теми дослідження.** Синтез нових емульсійних косметичних продуктів із заданими споживчими характеристиками залежить від колоїдно-хімічних властивостей як вихідних компонентів, так і готової продукції. При цьому особлива увага приділяється проблемам стійкості косметичних емульсій та підбору ефективного емульгатора. Тому розробка науково обґрунтованого підходу до створення нових рецептур вимагає знань про колоїдно-хімічні властивості як вихідних компонентів, так і кінцевих косметичних емульсій.

**Постановка проблеми.** Практика свідчить, що як стабілізатори косметичних емульсій найчастіше використовуються поверхнево-активні речовини та їх суміші, що дозволяє одержувати готові композиції із заданими властивостями. При цьому рецептури емульсійних засобів базуються на численних експериментальних даних, що значно ускладнює та здорожує випуск косметичної продукції.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Встановлення основних колоїдно-хімічних закономірностей синтезу косметичних емульсій та виявленні взаємозв'язку між колоїдно-хімічними властивостями вихідних компонентів і характеристиками кінцевої композиції.

**Постановка завдання.** Підбір стабілізатора, що складається із суміші поверхнево-активних речовин; визначення основних колоїдно-хімічних властивостей поверхнево-активних речовин і їх сумішей, а також поведінки індивідуальних поверхнево-активних речовин і їх сумішей на межі поділу фаз рідина – рідина.

**Виклад основного матеріалу.** З використанням даних поверхневого натягу на межі поділу фаз масло-вода обрано масляну фазу. За методом ваги-об'єму краплі визначено дані оптимального співвідношення стабілізаторів емульсії. Отримані емульсії досліджувались на колоїдну стабільність.

**Висновки відповідно до статті.** Відпрацьована методика отримання прямої емульсії, що стабілізована сумішшю поверхнево-активних речовин. Визначено значення параметрів адсорбційних шарів водорозчинних поверхнево-активних речовин на межі поділу фаз розчин-масло. Встановлена оптимальна концентрація суміші поверхнево-активних речовин, що дозволяє досягати максимальний стабілізуючий ефект. Визначено, що для отримання емульсії, стійких протягом декількох місяців, потрібно введення додаткового структуроутворювача, що буде темою наших подальших досліджень.

**Ключові слова:** поверхнево-активна речовина; константа адсорбційної рівноваги; емульгатор; емульсійний косметичний продукт; емульсія.

Рис.: 5. Табл.: 3. Бібл.: 13.

**Постановка проблеми.** Як відомо, косметичні емульсії є одним з найбільш поширених видів косметичної продукції. Нині відбувається постійна розробка нових композицій із заданими і покращеними споживчими характеристиками. При цьому особлива увага приділяється проблемам стійкості косметичних емульсій та підбору ефективного емульгатора. Практика свідчить, що як стабілізатори косметичних емульсій найчастіше використовуються поверхнево-активні речовини (ПАР) та їх суміші, що дозволяє одержувати готові композиції із заданими властивостями – розмірами емульсійних крапель, ступенем їхньої полідисперсності і вмістом масляної фази. Як свідчать літературні дані [1-3], рецептури емульсійних косметичних засобів базуються на численних експериментальних даних, що значно ускладнює та здорожує випуск косметичної продукції. Тому розробка науково-обґрунтованого підходу до створення нових рецептур вимагає знань про колоїдно-хімічні властивості як вихідних компонентів, так і кінцевих косметичних емульсій.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Останнім часом як стабілізатори косметичних емульсій все частіше застосовують бінарні суміші (ПАР). Це зумовлено тим, що суміші в порівнянні з індивідуальними ПАР часто виявляються ефективнішими при зниженні поверхневого натягу. Більшість дослідників пов'язують це з наявністю специфічних взаємодій між молекулами або іонами різної природи [4]. Дослідження сумішею ПАР нечисленні, і в основному присвячені вивченню міцелоутворенню й адсорбції на межі поділу фаз водний розчин – повітря [5; 6]. На сьогодні для теоретичного вибору ПАР єдиною можливістю є система ГЛБ (гідрофільно-ліпофільний баланс). Однак ця система, а також її модифікації дозволяє передбачити лише тип емульсії, що одержується з енергетичних позицій, тобто не враховує особливості будови ПАР [7]. Поведінка бінарних систем на межі поділу фаз водний розчин ПАР–масло практично не вивчена та не описана в літературі.

**Мета статті.** Встановлення основних колоїдно-хімічних закономірностей синтезу косметичних емульсій та виявленні взаємозв'язку між колоїдно-хімічними властивостями вихідних компонентів і характеристиками кінцевої композиції. А саме, підбір стабілізатора, що складається із суміші ПАР; визначення основних колоїдно-хімічних властивостей ПАР і їх сумішей, а також поведінки індивідуальних ПАР і їх сумішей на межі поділу фаз рідина – рідина.

**Виклад основного матеріалу.** Стабільність емульсій, як типових ліофобних систем, залежить від сукупності багатьох параметрів, таких як природа дисперсійного середовища і дисперсної фази, величини поверхневого натягу, в'язкості системи й деяких інших. Перераховані фактори, у свою чергу, істотно впливають на споживчі характеристики косметичної емульсії. При підборі компонентів косметичного продукту необхідно дотримання балансу між ціною і якістю.

Основними компонентами косметичних емульсій є олії та стабілізатори, роль останніх відіграють поверхнево-активні речовини або їх суміші.

При розробці складів косметичних прямих емульсій, передусім, ми зупинилися на виборі масляної фази і ПАР. Аналіз літератури, що стосується емульсійних систем [5–8], приводить до висновку про те, що при підборі масляної фази необхідно враховувати її полярність, тобто здатність диспергувати в інші рідини.

Як параметр, що характеризує полярність масла, в нашій роботі досліджувалася величина поверхневого натягу на межі поділу фаз масло-вода. Згідно з правилом Ребиндера [4], чим нижче його значення, тим більше полярне масло. Експеримент проводився за стандартною методикою на Тензіометрі К11. Дані експерименту представлені в табл. 1 (всі зазначені масла використовуються в складі косметичних кремів).

Таблиця 1

*Величина поверхневого натягу на границі поділу фаз олія вода*

Масла, що використовуються в технології косметичних засобів	Поверхневий натяг, $\sigma$ , мДж/м <sup>2</sup>
Парафінове масло /Paraffine oil	44,3
ППГ-15 стеариловий ефір (Arlamol E)	30,4
Сквалан/Squalane	46,2
Ізопропил мірістат /IPM	24,3
Ізопропил пальмітат/IPP	22,2
Каприловий/каприновий тригліцерид (Muritol 312)	21,1
Циклопентасилоксан/Cyclopentacyloksane	20,6

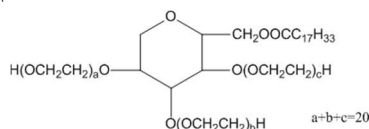
На підставі даних табл. 1 для отримання прямих модельних емульсій у ролі олійної фази був обраний циклопентасилоксан / Cyclopentacyloksane – полярне масло, з низьким поверхневим натягом на межі поділу фаз вода-масло, відносно дешеве, доступне та застосовується у виробництві косметичних продуктів.

При виборі ПАР для стабілізації прямих емульсій ми керувалися принципом чисел ГЛБ. З літературних джерел відомо кілька шкал ГЛБ, найбільш поширеними з яких є шкали Гріффіна і Девіса [9]. Для стабілізації прямих емульсій використовують водорозчинні ПАР з високими числами ГЛБ. Принцип підбору ПАР на основі чисел ГЛБ добре узгоджується з правилом Банкрофта [10], згідно з яким для стабілізації прямих емульсій слід використовувати водорозчинні ПАР, а для зворотних – маслорозчинні.

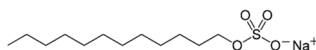
При цьому обрані для дослідження ПАР повинні використовуватися в технології косметичних засобів і бути індивідуальними та чистими сполуками. Дотримання другої обставини необхідно під час проведення фізико-хімічних розрахунків. Тому об'єктами дослідження були обрані дві водорозчинні ПАР – аніоногенна й неіоногенна.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Як неіоногенна поверхнево-активна речовина (НПАР) використовувався емульгатор Твін – 80 ( $C_{64}H_{124}O_{26}$ ), з молекулярною масою 1308 г/моль. Це рідина світло-жовтого кольору, добре розчинна у воді.



Як іоногенна поверхнево-активна речовина (АПАР) застосовувався аніонний емульгатор триетаноламін лаурилсульфат ( $C_{18}H_{41}NO_7S$ ), з молекулярною масою 415 г/моль. Це білий порошок, розчинний у воді.



Незважаючи на те, що дані ПАР є сполуками, що випускаються в промислових масштабах, їхні колоїдно-хімічні характеристики у відкритих джерелах відсутні. Знання цих характеристик необхідно для обґрунтованого підходу при розробці рецептур на їх основі, тому далі ми представляємо експериментальні результати з їх визначення.

Як колоїдно-хімічні характеристики ПАР ми розглядали такі параметри, як товщина адсорбційного шару, площу, що займає одна молекула ПАР в адсорбційному шарі на межі поділу фаз розчин ПАР – масло.

Поверхневий натяг на межі вода-масло визначалося методом ваги-об'єму краплі за відомою методикою [11]. Для розрахунку величин поверхневого натягу цим методом необхідно дані густини масла. За допомогою пікнометра номінальним об'ємом 3 мл була визначена густина чистого масла, яка становила:  $\rho = 950 \text{ кг/м}^3$  при  $t = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Першим етапом дослідження було визначення колоїдно-хімічних характеристик окремим ПАР на межі поділу фаз розчин – масло, що має велике значення при розробці рецептур емульсійних композицій. Для цього були приготовлені розчини АПАР та НПАР з різними концентраціями.

Значення величини максимальної адсорбції визначалося з використанням класичного рівняння Гіббса [12]:

$$\Gamma = -\frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma}{dc}, \quad (1)$$

де  $\Gamma$  – питома адсорбція речовини, моль/м<sup>2</sup>, тобто надмірна концентрація розчиненої речовини в поверхневому шарі розчину порівняно з його об'ємною концентрацією  $c$ ;  $\sigma$  – поверхневий натяг розчину, мН/м;  $R$  – універсальна газова стала;  $T$  – абсолютна температура, К.

Площа, яку займає одна молекула в адсорбційному шарі, буде становити:

$$S_0 = \frac{1}{\Gamma_\infty \cdot N}, \quad (2)$$

де  $N$  – число Авогадро ( $6,023 \cdot 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>);  $\Gamma_\infty$  – величина граничної адсорбції, моль/м<sup>2</sup>.

Товщина адсорбційного моношару (довжина молекули) відповідно визначалась як:

$$l = \frac{M \cdot \Gamma_\infty}{\rho}, \quad (3)$$

де  $M$  – молярна маса адсорбованої речовини, г/моль;  $\rho$  – густина адсорбованої речовини, кг/м<sup>3</sup>.

Вихідні експериментальні ізотерми поверхневого натягу наведені на рис. 1.

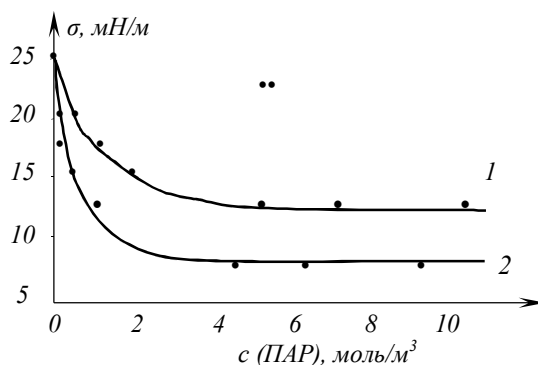


Рис. 1. Ізотерма поверхневого натягу НПАВ (1) та АПАВ (2)

Розрахунок параметрів адсорбційних шарів проводився з використанням рівнянь (1), (2) і (3). На рис. 2 представлені ізотерми гіббсовської адсорбції, коли ПАВ адсорбується на межі поділу фаз розчин-масло. Параметри адсорбційних шарів наведено у табл. 2.

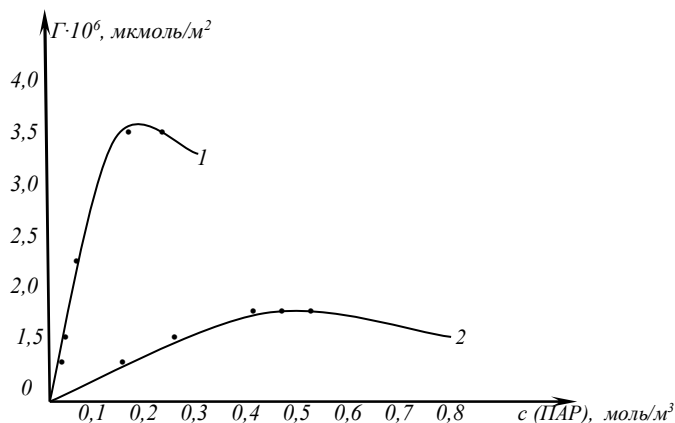


Рис. 2. Ізотерма гіббсовської адсорбції АПАВ(1) та НПАВ (2)

Таблиця 2

Значення параметрів адсорбційних шарів водорозчинних ПАВ на межі поділу фаз розчин-масло

ПАВ	$\Gamma_{\infty} \cdot 10^6$ , $\mu\text{моль}/\text{м}^2$	$S_0$ , $\text{нм}^2$	$l$ , $\text{нм}$
АПАВ	1,85	1,25	1,25
НПАВ	3,57	8,31	3,54

Аналіз даних, представлених в таблиці, свідчить про те, що на міжфазній поверхні розчин АПАВ –адсорбується краще з утворенням більш щільного моношару, тому що посадочний майданчик його молекул істотно менше, ніж у НПАВ.

Ми вважаємо, що на межі поділу фаз рідина-рідина вуглеводневі радикали молекул ПАВ розташовані не зовсім перпендикулярно площині кордону розділу фаз, а переплітаються між собою, що добре узгоджується з відомими літературними даними [13].

Для визначення найкращого співвідношення АПАВ і НПАВ були отримані ізотерми поверхневого натягу з різним співвідношенням АПАВ і НПАВ. Поверхневий натяг визначалося на межі поділу фаз розчин – масло. Результати досліджень наведені на рис. 3.

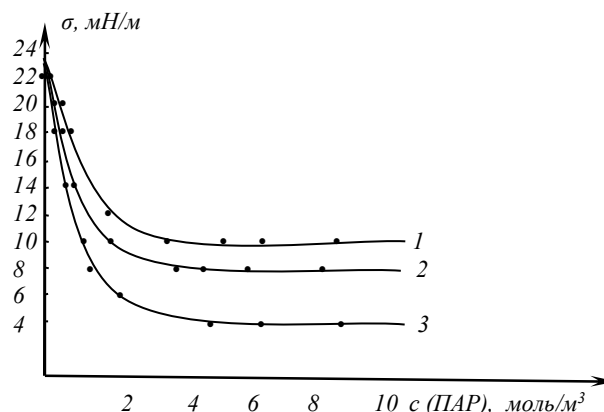


Рис. 3. Ізотерми поверхневого натягу суміші АПАР та НПАР:  
 1 – АПАР:НПАР = 1:4; 2 – АПАР:НПАР = 1:1; 3 – АПАР:НПАР = 4:1

Дані рис. 3 свідчать, що найкращі результати спостерігаються при співвідношенні АПАР:НПАР як 4:1, оскільки ізотерма при цьому співвідношенні розташовується нижче всіх.

Додаткову інформацію про колоїдно-хімічних властивостях ПАР на границі поділу фаз розчин – олія можуть дати константи рівняння Шишковського. Згідно з цим рівнянням зниження поверхневого натягу зі зростанням концентрації ПАР має вигляд [12]:

$$\Delta\sigma = \sigma_0 - \sigma = B \ln(1 + Ac), \tag{4}$$

де  $\sigma_0$  – поверхневий натяг чистого розчинника, мН/м;  $\sigma$  – поверхневий натяг розчину ПАР, мН/м;  $B$  – константа для всього гомологічного ряду ПАР;  $A$  – константа для відповідного ПАР;  $c$  – концентрація розчину ПАР, моль/л.

У диференційній формі це рівняння набуває вигляду:

$$\frac{d\sigma}{dc} = \frac{BA}{1 + Ac}. \tag{5}$$

Величина гіббсовської адсорбції пов’язана з константами рівняння Шишковського таким чином [12]:

$$\Gamma = \Gamma_\infty \cdot \frac{Kc}{1 + Kc}, \tag{6}$$

де  $K$  – константа адсорбційної рівноваги, що характеризує міжмолекулярну взаємодію в адсорбційних шарах, які складаються із суміші ПАР, м<sup>3</sup>/моль.

У табл. 3 наведені константи рівняння Шишковського, що розраховані для кожного співвідношення суміші ПАР.

Таблиця 3

Константи рівняння Шишковського для суміші ПАР у різних співвідношеннях

Співвідношення АПАР:НПАР	Константа $K$ , м <sup>3</sup> /моль
4:1	298
1:1	102
1:4	18

Результати табл. 3 підтверджують, що збільшення вмісту в суміші НПАР призводить до послаблення взаємодії в міжфазному шарі, а зростання вмісту АПАР – до різкого зростання величини  $K$  та посилення взаємодії.

Максимальна величина константи відповідає співвідношенню АПАР:НПАР = 4:1, за якого ізотерма розташовується нижче всіх інших (рис. 3).

Константи рівняння Шишковського, що розраховані за даними рис. 3, добре узгоджуються з літературними даними [13].

Подальше збільшення вмісту АПАР у суміші не призводить до суттєвого зменшення поверхневого натягу, тому співвідношення АПАР:НПАР = 4:1 було обрано оптимальним з погляду цієї суміші.

Наступним етапом наших досліджень було визначення концентрації масляної фази, за якої утворюється стабільна емульсія.

У косметичних емульсійних продуктах вміст фази масла лежить в межах від 1–20 % об. залежно від виду продукції. У наших дослідженнях кількість фази масла, яка дозволяє отримувати стабільні емульсії, що стабілізовані сумішшю ПАР, визначалася експериментально, оскільки суміш ПАР раніше на використовувалася, отже, будь-які літературні дані відсутні.

Модельні косметичні емульсії у широкому інтервалі концентрацій фази масла були отримані в присутності сумішей ПАР у різних співвідношеннях. Критерієм стійкості емульсії був час розшарування композиції, який визначався візуально.

Для отримання емульсійної бази косметичної композиції необхідну кількість компонентів водневої фази (Твін – 80 та триетаноламін лаурилсульфат) розчиняли у воді та нагрівали до температури 75 °С. Фазу олії, яка була представлена циклопентасілоксаном, нагрівали до температури 75 °С. Далі водневу фазу та фазу олії змішували та перемішували до температури 50 °С, а потім диспергували протягом 2 хвилин на гомогенізаторі зі швидкістю обертання 4000 об/хв. Отриману емульсію охолоджували до кімнатної температури. Після цього проводили візуальне спостереження за розшаруванням емульсій, що були отримані.

На рис. 4 наведена залежність часу розшарування емульсій, що стабілізовані індивідуальними ПАР, залежно від вмісту в них фази олії. Концентрація суміші НПАР та АПАР становить 4 моль/м<sup>3</sup>. Ця концентрація була обрана в результаті проведених нами раніше досліджень адсорбції суміші ПАР на межі поділу фаз розчин – масло. З рис. 4 випливає, що мінімальне значення поверхневого натягу досягається коли концентрація суміші ПАР становить 4 моль/м<sup>3</sup>.

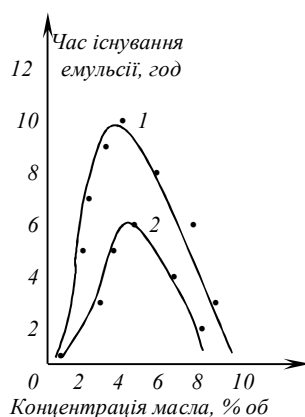


Рис. 4. Залежність часу існування модельних емульсій від концентрації фази масла:  
1 – АПАР; 2 – НПАР

Концентрація фази олії була в інтервалі від 0,1 до 10 % об. У ролі стабілізатора першого дослідження було використано АПАР, а другого – НПАР. На кривих (рис. 4) спостерігається максимум, що відповідає концентрації фази олії 5 % об. При стабілізації емульсії АПАР час існування емульсії становить 12 годин, а при стабілізації НПАР – 6 годин.

На наш погляд, стабільність емульсії при однаковому вмісті фази масла зумовлена такими факторами. При низькій концентрації фази масла (до 5 % об.) в'язкість емульсії недостатньо велика та гідростатичний фактор стійкості не забезпечує стабільності сис-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

теми загалом. При досягненні вмісту фази масла 5 % об. та вище в'язкість емульсії зростає. При розгляданні АПАР час життя емульсії вище завдяки утворенню подвійного електричного шару на краплях масла. При подальшому зростанні концентрації масла емульсія розшаровується у зв'язку з недостатньою кількістю ПАР. Оскільки вміст фази масла 5 % об. задовольняє вимогам, що висуваються до більшості косметичних композицій, то саме воно і було вибрано для всіх досліджень.

Подальші експерименти показали, що максимальний час існування емульсії спостерігається при концентрації фази масла 5 % об та стабілізації сумішшю АПАР:НПАР = 4:1 (рис. 5). Цей стабілізатор дозволяє отримувати емульсії, стійких протягом кількох діб. Для отримання емульсій, стійких протягом декількох місяців, потрібне введення додаткового структуроутворювача, що буде подальшою темою наших досліджень.

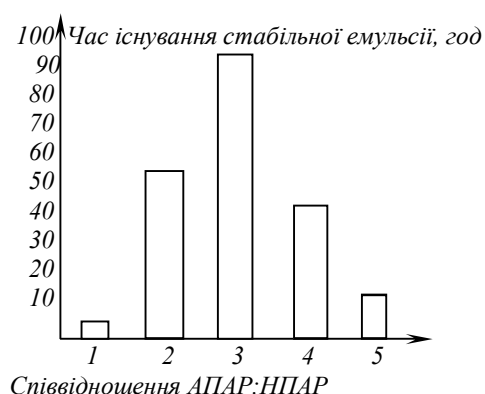


Рис. 5 Залежність часу існування емульсії, що містить 5 % об. фази масла: 1 – НПАР; 2 – АПАР:НПАР = 1:4; 3 – АПАР:НПАР = 4:1; 4 – АПАР:НПАР = 1:1; 5 – АПАР

#### Висновки відповідно до статті.

1. Відпрацьована методика отримання прямої емульсії, що стабілізована сумішшю АПАР і НПАР, та встановлено, що найкраща агрегативна стійкість емульсії спостерігається при концентрації фази олії 5 % об.

2. Визначено значення параметрів адсорбційних шарів водорозчинних ПАР на межі поділу фаз розчин-масло, яке дозволило встановити, що розчин АПАР адсорбується краще з утворенням щільного моношару.

3. Отримані дані колоїдно-хімічних властивостей суміші ПАР на межі поділу фаз розчин – масло, а саме константи рівняння Шишковського, які показали, що найбільше значення константи адсорбційної рівноваги досягається при співвідношенні АПАР:НПАР = 4:1.

4. З використанням ізотерм поверхневого натягу встановлено, що для отримання максимального стабілізуючого ефекту концентрація суміші ПАР становить 4 моль/м<sup>3</sup>.

5. У результаті проведених нами досліджень встановлено, що максимальний час існування емульсії становить 90 годин, яка стабілізована сумішшю ПАР у співвідношенні АПАР:НПАР = 4:1. Для отримання емульсій, стійких протягом декількох місяців, потрібно введення додаткового структуроутворювача, що буде темою наших подальших досліджень.

#### Список використаних джерел

1. Chudinova N. B. Control of some colloid-chemical behaviors when developing cosmetic creams / N. B. Chudinova, K. I. Kienskaya, G. V. Avramenko // **Proceedings** of the XXV-th International Symposium Physicochemical Methods of Separation «Ars Separatoria» (19-23 April 2010, Torun). – Torun, 2010. – Pp. 254–256.

2. Самуйлова Л. Н. Косметическая химия в 2 ч. Часть 1. Ингридиенты / Л. Н. Самуйлова, Т. М. Пучкова. – М. : Школа косметических химиков, 2005. – 336 с.



3. Кутц Г. Косметические кремы и эмульсии: состав, получение, методы испытаний / Г. Кутц. – М. : Косметика и медицина, 2004. – 267 с.
4. *Pre-clinical* formulation screening, development and stability of acetyl aspartic acid for cosmetic application / K. Cattley, L. Duracher, P. Camattari, A. Mavon, S. Grooby // *International Journal of Cosmetic Science*. – 2015. – Vol. 37. – Pp. 28–33.
5. *Cosmetic emulsion from virgin olive oil: Formulation and bio-physical evaluation* / S. Smaoui, H. B. Hlima, R. Jarraya, N. Grati Kamoun, R. Ellouze, M. Damak // *African Journal of Biotechnology*. – 2012. – Vol. 11 (40). – Pp. 9664–9671.
6. Тимофеев В. А. Новые эмульсионные продукты с функциональными свойствами / В. А. Тимофеев, О. С. Восканян // Управление торговлей: теория, практика, инновации : матер. IV Международной научно-практической конференции (15-19 ноября 2011 г., Москва). – М., 2011. – С. 381–384.
7. *Barel André O. Handbook of Cosmetic Science and Technology, Fourth Edition* / A. O. Barel, M. K. Paye, H. I. Maibach. – France : Taylor & Francis, 2009. – 600 p.
8. *Hibbott H. W. Handbook of cosmetic science : an introduction to principles and applications* / H. W. Hibbott. – New York, USA: Oxford, 2016. – 566 p.
9. Мухтарова С. Э. Дисперсность и агрегативная устойчивость косметических эмульсий, стабилизированных стеаратными мылами : дис. ... канд. хим. наук : спец. 02.00.11 / Мухтарова Светлана Эдгаровна ; [Российский химико-технологический университет имени Д. И. Менделеева]. – М., 2003. – 155 с.
10. *Bancroft W. D. The theory of emulsification. VI* / W. D. Bancroft // *Journal of Physical Chemistry*. – 1915. – Vol. 19. – Pp. 275–309.
11. Лютий Т. В. Лабораторний практикум з фізики. Частина 2 / Т. В. Лютий, О. С. Денисова. – Суми : Сумський державний університет, 2012. – 70 с.
12. Гомонай В. І. Фізична та колоїдна хімія / В. І. Гомонай. – Вінниця : Нова Книга, 2012. – 496 с.
13. *Jost F. Synergisms in binary surfactant mixtures* / F. Jost, H. Leiter, M. J. Schwuger // *Colloid and Polymer Science*. – 1988. – Vol. 266, issue 6. – Pp. 554–561.

### References

1. Chudinova, N. B. (2010). Control of some colloid-chemical behaviors when developing cosmetic creams: *Proceedings of the XXV-th International Symposium on Physicochemical Methods of Separation «Ars Separatoria»* (pp. 63–64) [in English].
2. Samuilova, L. N. (2005). *Kosmeticheskaiia khimiia. Ingridienty [Cosmetic Chemistry. Ingredients]*. (Vols. 1-2). Moscow: MISIS [in Russian].
3. Kuttc, G. (2004). *Kosmeticheskie kremy i emulsii: sostav, poluchenie, metody ispytanii [Cosmetic creams and emulsions: composition, preparation, test methods]*. Moscow: Cosmetics and medicine [in Russian].
4. Cattley, K., Duracher, L., Camattari, P., Mavon, A. & Grooby, S. (2015). Pre-clinical formulation screening, development and stability of acetyl aspartic acid for cosmetic application. *International Journal of Cosmetic Science* (Vols. 37), (pp. 28–33) [in English].
5. Smaoui, S., Hlima, H. B., Jarraya, R., Kamoun, N. Grati, E. R. & Damak, M. (2012). Cosmetic emulsion from virgin olive oil: Formulation and bio-physical evaluation. *African Journal of Biotechnology*, 11 (40), 9664–9671 [in English].
6. Timofeev, V. A. (2011). Novye emulsionnye produkty s funktsionalnymi svoistvami strumu [New emulsion products with functional properties]. Proceedings from *IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Upravlenie torgovlei: teoriia, praktika, innovatsii – The International Scientific and Practical Conference «Trade Management: Theory, Practice, Innovation»* (pp. 381–384). Moscow [in Russian].
7. Barel, A. O., Paye, M. K. & Maibach, H. I. (2009). *Handbook of Cosmetic Science and Technology. (4th Ed.)*. France: Taylor & Francis [in English].
8. Hibbott, H. W. (2016). *Handbook of cosmetic science: an introduction to principles and applications*. New York: Oxford [in English].
9. Mukhtarova, S. E. (2003). Dispersnost i agregativnaia ustoichivost kosmeticheskikh emulsii, stabilizirovannykh stearatnymi mylami. [Dispersion and aggregative stability of cosmetic emulsions

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

stabilized with stearate soaps]. *Candidate's thesis*. Russian University of Chemical Technology named after D. I. Mendeleev's. Moscow [in Russian].

10. Bancroft, W. D. (1915). The theory of emulsification. *Journal of Physical Chemistry*, 19, 275–309 [in English].

11. Liutii, T. V. & Denisova, O. S. (2012). *Laboratornii praktikum z fiziki. Chastina 2 [Laboratory practical work in physics. Part 2]*. Sumi: SDU [in Ukrainian].

12. Gomoni, V. I. (2012). *Fizichna ta koloïdna khimiia [Physical and colloidal chemistry]*. Vinnytsa: The New Book [in Ukrainian].

13. Jost, F., Leiter, H. & Schwuger, M. J. (1988). Synergisms in binary surfactant mixtures. *Colloid and Polymer Science*, 266 (6), 554–561 [in English].

UDC 544.773.32

*Veronika Yefimova, Tatyana Pilipenko, Oleksandra Nikora, Polina Nevpryaga*

### DEVELOPMENT OF EMULSION COSMETICS PRODUCT BASED ON COLLOIDAL REGULARITIES

**Urgency of the research.** Synthesis of new emulsion cosmetic products with given consumer characteristics depends on colloidal and chemical properties of both source components and finished products. In this case, particular attention is paid to the problems of the stability of cosmetic emulsions and the selection of effective emulsifier. Therefore, the development of a scientifically grounded approach to the creation of new formulations requires knowledge of the colloidal and chemical properties of both the source components and the final cosmetic emulsions.

**Target setting.** Practice shows that as stabilizers of cosmetic emulsions, surface-active substances and their mixtures are most often used to obtain ready-made compositions with given properties. At the same time, the recipes of emulsion cosmetics are based on numerous experimental data, which greatly complicates and costs cosmetic production.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Establishment of the basic colloid-chemical laws of the synthesis of cosmetic emulsions and the identification of the relationship between the colloid-chemical properties of the initial components and the characteristics of the final composition.

**The research objective.** Selection of a stabilizer, consisting of a mixture of surfactants; determination of the main colloid-chemical properties of surfactants and their mixtures, as well as the behavior of individual surfactants and their mixtures at the interface between the phases of the liquid-liquid.

**The statement of basic materials.** Using the surface tension data, an oil phase is selected at the interface between oil and water phases. According to the method of weight-volume of the drop, the data of the optimal ratio of emulsion stabilizers are determined. The obtained emulsions were investigated for colloidal stability.

**Conclusions.** Exhausted method for obtaining a direct emulsion stabilized by a mixture of surface-active substances. The values of the parameters of adsorption layers of water-soluble surfactants at the interface between the solution-butter phases are determined. An optimal concentration of a mixture of surface-active substances has been established, which allows achieving the maximum stabilizing effect. It is determined that in order to obtain emulsions, stable for several months, the introduction of additional structural formulation, which will be the subject of our further research, is required.

**Keywords:** surface-active substance; adsorption equilibrium constant; emulsifier; cosmetic product; emulsion.

Fig.: 5. Tab.: 3. References: 13.

УДК 544.773.32

*Вероника Ефимова, Татьяна Пилипенко, Александра Никора, Полина Невпрыга*

### РАЗРАБОТКА ЭМУЛЬСИОННОГО КОСМЕТИЧЕСКОГО ПРОДУКТА НА ОСНОВЕ КОЛЛОИДНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

**Актуальность темы исследования.** Синтез новых эмульсионных косметических продуктов с заданными потребительскими характеристиками зависит от коллоидно-химических свойств как исходных компонентов, так и готовой продукции. При этом особое внимание уделяется проблемам устойчивости косметических эмульсий и подборе эмульгатора. Поэтому разработка научно обоснованного подхода к созданию новых рецептур косметической продукции является актуальным заданием.

**Постановка проблемы.** Практика показывает, что в качестве стабилизаторов косметических эмульсий чаще всего используются поверхностно-активные вещества и их смеси. При этом рецептуры эмульсионных косметических средств базируются на многочисленных экспериментальных данных, что значительно усложняет и удорожает выпуск косметической продукции.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе.

**Выделение неисследованных ранее частей общей проблемы.** Установление основных коллоидно-химических закономерностей синтеза косметических эмульсий и выявлении взаимосвязи между коллоидно-химическими свойствами исходных компонентов и характеристиками конечной композиции.

**Постановка задачі.** *Подбор стабилизатора, состоящего из смеси поверхностно-активных веществ; определение основных коллоидно-химические свойства поверхностно-активных веществ и их смесей, а также поведения индивидуальных поверхностно-активных веществ и их смесей на границе раздела фаз жидкость - жидкость.*

**Изложение основного материала.** *С использованием данных поверхностного натяжения на границе раздела фаз масло-вода избрали масляную фазу. Методом веса-объема капли определены данные оптимального соотношения стабилизаторов эмульсии. Полученные эмульсии исследовались на коллоидную стабильность.*

**Выводы соответствию со статьей.** *Отработана методика получения прямой эмульсии, стабилизирована смесью поверхностно-активных веществ. Определены значения параметров адсорбционных слоев водорастворимых поверхностно-активных веществ на границе раздела фаз раствор-масло. Установлена оптимальная концентрация смеси поверхностно-активных веществ, что позволяет достигать максимальный стабилизирующий эффект.*

**Ключевые слова:** *поверхностно-активное вещество; константа адсорбционного равновесия; эмульгатор; эмульсионный косметический продукт; эмульсия.*

*Рис.: 5. Табл.: 3. Библ.: 13.*

**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).

**Yefimova Veronika** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kiev, Ukraine).

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-2372-8398>

**Scopus Author ID:** 56049696800

**Пилипенко Тетяна Миколаївна** – кандидат 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).

**Pilipenko Tatyana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Physical Chemistry Department, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kiev, Ukraine).

**E-mail:** pilipenkotm@bigmir.net

**Нікора Олександра Вікторівна** – студент магістратури, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Никора Александра Викторовна** – студент магистратуры, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Nikora Oleksandra** – student, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kiev, Ukraine).

**E-mail:** aleksandra.nikora17@gmail.com

**Невпряга Поліна Юріївна** – студент магістратури, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Невпряга Полина Юрьевна** – студент магистратуры, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Nevpryga Polina** – student, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremogy Av., 03056 Kiev, Ukraine).

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

*Ірина Заморська*

## ПОЛІПШЕННЯ КОНСИСТЕНЦІЇ ЗАМОРОЖЕНИХ ПЮРЕПОДІБНИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ПЮРЕ СУНИЧНОГО

*Актуальність теми дослідження.* Підвищення культури харчування населення зумовлює зростання попиту на харчові продукти оздоровчого призначення, що здатні забезпечувати значну частку добової потреби організму людини в основних харчових нутрієнтах.

*Постановка проблеми.* Важливим завданням є створення харчових продуктів оздоровчого призначення.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* В останні роки на ринку спостерігається зростання частки заморожених напівфабрикатів. Існують розробки пюреподібних десертів з геропротекторними властивостями, заморожених фруктово-ягідних десертів функціонального призначення та інші варіанти пюреподібних сумішей з різних видів плодів та ягід.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Проте не всі плоди та ягоди одночасно досягають, мають гармонійний смак з оптимальним співвідношенням цукрів і кислот, значний вміст вітамінів, однорідну консистенцію після переробки на пюре.

*Постановка завдання.* Метою цієї роботи є створення пюреподібних сумішей з плодів та ягід різного строку досягання на основі пюре суничного, що мають високу вітамінну цінність та стабільну не розшаровану консистенцію після розморожування.

*Виклад основного матеріалу.* Досліджували якість заморожених пюреподібних сумішей на основі пюре суничного з додаванням пюре абрикосового та вишневого.

Доведено, що введення в рецептуру сумішей пюре абрикосового та вишневого зумовлювало підвищення вмісту сухих розчинних речовин на 22,5–42,6 %, цукрів – на 25,2–38,2 %, проте спричиняло зростання їхньої кислотності на 0,1–0,3 % та зниження рівня аскорбінової кислоти на 15,4–48,0 %.

Під час заморожування пюреподібних сумішей відбулося зниження вмісту сухих розчинних речовин на 4,2–5,6 %, цукрів – на 5,5–7,7 %, аскорбінової кислоти – на 1,8–7,3 %. Заміна частини пюре суничного на абрикосове суттєво підвищила їх органолептичну оцінку.

Підрахунки загальної дегустаційної оцінки сумішей показали переваги сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневої (30 %) суміші – 4,3 бала. Деяко нижчі показники – на 0,2 бала в сунично (60 %)-абрикосової (40 %).

*Висновки відповідно до статті.* Пюре суничне є доброю основою для виробництва заморожених пюреподібних сумішей, за рахунок чого вони зберігають високий вміст аскорбінової кислоти та мають виражений аромат суниці. Використання як добавки пюре абрикосового дозволяло отримати стабільну не розшаровану консистенцію без застосування стабілізаторів, а додавання пюре вишневого – отриманню більш інтенсивного червоного забарвлення. За комплексом фізико-хімічних та органолептичних показників кращими визнано сунично (60 %)-вишневу (40 %) та сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневу (30 %) пюреподібні суміші.

*Ключові слова:* заморожування; пюреподібна суміш; суниця; хімічний склад.

Табл.: 3. Рис.: 1. Бібл.: 8.

*Постановка проблеми.* Підвищення культури харчування населення зумовлює зростання попиту на харчові продукти оздоровчого призначення, що здатні забезпечувати добову потребу організму людини в основних харчових нутрієнтах. Значну складову частину раціону оздоровчого харчування повинні складати плоди та овочі. Проте невелика тривалість їхнього зберігання зумовлює пошук методів, які б забезпечували сповільнення біохімічних процесів у продукції та запобігали розвитку мікроорганізмів [1].

Заморожування – сучасний спосіб консервування соковитої рослинної сировини, що має певні суттєві переваги, серед яких мінімальні зміни її харчової і біологічної цінності, можливість уникнення сезонності виробництва високовітамінної продукції, збалансування раціону населення відповідно до принципів здорового харчування [2].

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Розробка ресурсозберігаючих технологій, що дозволяють ефективно використовувати харчовий потенціал сировини, сприяє зростанню на ринку частки різних видів напівфабрикатів, у тому числі заморожених [3]. Технологія отримання багатокомпонентних протертих сумішей функціонального призначення із заморожених плодів та ягід сприяє вирішенню проблеми оздоровчого харчування населення [4]. Так, розроблені пюреподібні десерти на основі брусниці, що мають геропротекторні властивості, за рахунок значної кількості антиоксидантів [5], заморожені фруктово-ягідні десерти функціонального призначення на основі вишневої, яблучної і смородинової сировини [6] та інші варіанти пюреподібних сумішей з різних видів плодів та ягід [7].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Цінність плодів та ягід визначається наявністю у їхньому складі вуглеводів, білків, вітамінів, мінеральних речовин, вільних амінокислот, природних антиоксидантів тощо. Однак не всі вони одночасно досягають, мають гармонійний смак з оптимальним співвідношенням цукрів і кислот, значний вміст вітамінів, однорідну консистенцію після переробки на пюре.

Взаємодоповнити та збагатити їх можна за допомогою створення різноманітних пюреподібних сумішей з плодів та ягід різного строку досягання, які б характеризувалися високою вітамінною цінністю, збалансованим гармонійним смаком та мали стабільну не розшаровану консистенцію після розморожування.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є створення пюреподібних сумішей з плодів та ягід різного строку досягання на основі пюре суничного, що мають високу вітамінну цінність та стабільну, не розшаровану консистенцію після розморожування.

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження проводили на кафедрі технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва згідно з методичними вказівками щодо проведення досліджень із замороженими плодами, ягодами та овочами [8]. Пюреподібні суміші виготовляли із заморожених ягід суниці сорту Дукач, зі свіжих плодів абрикоса сорту Краснощокій та плодів вишні сорту Володимирська. Сировину подрібнювали до стану пюре, де визначали вміст основних компонентів хімічного складу. З отриманих пюре компонували пюреподібні суміші на основі пюре суничного із заміною його частини на 20, 30, і 40 % пюре абрикосового та вишневого у співвідношеннях згідно схеми досліду та фасували у пластикові стакани масою до 0,2 кг продукції. Контроль – пюре суничне. Повторність досліду трикратна. Суміші заморожували за температури  $(-30 \pm 1)$  °C та зберігали протягом шести місяців за температури  $(-18 \pm 1)$  °C.

Якість пюреподібних сумішей оцінювали за змінами фізико-хімічних та органолептичних показників: масову частку сухих розчинних речовин – рефрактометрично за ДСТУ 7804; масову частку цукрів – фериціанідним методом за ДСТУ 4954; титровану кислотність – титруванням лугом за ДСТУ 4957; цукрово-кислотний індекс – відношенням масової частки цукрів до органічних кислот; вміст аскорбінової кислоти йодометричним методом за ГОСТ 24556; дегустацію пюреподібних сумішей проводили закритим способом за 5-баловою шкалою.

Статистичний аналіз виконували за допомогою програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 Russian, Enterprise Single User (2007).

Дослідження хімічного складу сировини для виробництва сумішей показали (табл. 1), що істотно вищу кількість сухих розчинних речовин мали плоди вишні.

Таблиця 1

*Деякі компоненти хімічного складу сировини*

Сировина	Масова частка, %			Цукрово-кислотний індекс	Вміст аскорбінової кислоти, мг/100 г
	сухих розчинних речовин	цукрів	Органічних кислот		
Суниця	6,2	5,2	0,98**	5,1	69,4
Абрикос	12,8	9,6	1,90*	5,1	15,4
Вишня	14,8	11,0	1,14*	9,7	10,8
НІР <sub>05</sub>	0,8	0,6	0,02	0,6	5,0

\* в перерахунку на яблучну кислоту;

\*\* в перерахунку на лимонну кислоту.

У плодах абрикоса їхній вміст був на 13,6 %, а в суниці – в 2,4 раза нижчим, порівняно з плодами вишні. Масова частка цукрів у продукції знаходилася на досить високому рівні, зі значною перевагою плодів вишні – 11,0 %.

Істотно вищий вміст органічних кислот виявлено в плодах абрикоса – 1,9 %. Різниця між кількістю кислот в останніх та плодах вишні й суниці становила 40 та 48,5 % відповідно. Цукрово-кислотний індекс у плодів вишні був 9,7, проти 5,1 у ягодах суниці й плодів абрикоса.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Серед досліджуваних зразків продукції найбільш високі значення вмісту аскорбінової кислоти в плодах зафіксовано у суниці – 69,4 мг/100 г, що в 4,5 та 6,4 раза перевищує аналогічні показники плодів абрикоса та вишні.

У готових зразках пореподібних сумішей (табл. 2) відмічено істотне зростання вмісту сухих розчинних речовин, що пов'язано із заміною частини пюре суничного на абрикосове і вишневе. Зокрема, найбільша кількість сухих розчинних речовин встановлена в сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневій (30 %) суміші – 10,8 %, що на 42,6 % перевищує показник пюре суничного (контроль). Істотно відрізняються від контролю за вказаним показником і сунично-вишневі суміші: на 22,5 і 33,5 %. Серед досліджуваних зразків сумішей найнижчим вмістом сухих розчинних речовин характеризувалася суміш сунично (80 %)-абрикосова (20 %) – 7,6 %, однак цей показник все ж істотно перевищував контроль.

Аналогічна тенденція спостерігалася і з вмістом цукрів, що пояснюється істотно нижчою їх кількістю в ягодах суниці, на основі яких готували суміші. Найвища масова частка цукрів виявилася у суміші сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневій (30 %) – 8,4 %, що на 38,2 % вище аналогічного показника пюре суничного. Дещо менша кількість цукрів порівняно з цією сумішшю була у сумішах сунично (60 %)-вишневій (40 %) і сунично (60 %)-абрикосовій (40 %) – на 25,2 і 31,2 %.

Разом з іншими показниками зросла кислотність пореподібних сумішей, що пов'язано із заміною частини пюре суничного на пюре з вищим вмістом органічних кислот. Найбільш високою кислотністю характеризувалися сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишнева (30 %) та сунично (60 %)-абрикосова (40 %) суміші – 1,30 і 1,35, що зумовлено внесенням 30 та 40 % пюре абрикосового.

Найвище значення цукрово-кислотного показника, порівняно з іншими зразками сумішей, встановлено у сунично (60 %)-вишневій (40 %) суміші – 6,9.

Заміна частини високовітамінного пюре суничного на абрикосове та вишневе в різних співвідношеннях призвела до зниження в них вмісту аскорбінової кислоти.

Таблиця 2

*Деякі компоненти хімічного складу пореподібних сумішей*

Вид суміші	Масова частка, %			Цукрово-кислотний індекс	Вміст аскорбінової кислоти, мг/100 г
	Сухих розчинних речовин	цукрів	органічних кислот*		
Пюре суничне (контроль)	6,2	5,1	0,98	5,1	69,4
Сунично (80 %)-абрикосова (20 %)	7,6	5,9	1,12	5,2	58,7
Сунично (60 %) - абрикосова (40 %)	8,8	6,8	1,30	5,3	47,8
Сунично (80 %)-вишнева (20 %)	8,0	6,3	1,00	6,3	57,5
Сунично (60 %)-вишнева (40 %)	9,6	7,5	1,08	6,9	46,2
Сунично (40 %) – абрикосово (30 %)-вишнева (30 %)	10,8	8,4	1,35	6,2	36,1
НІР <sub>05</sub>	0,4	0,4	0,03	0,2	2,0

\* у перерахунку на яблучну кислоту.

Серед досліджуваних зразків сумішей найбільшим вмістом аскорбінової кислоти характеризувалися сунично (80 %)-абрикосова (20 %) та сунично (80 %)-вишнева (20 %) пореподібні суміші 57,5–58,7 мг/100 г.

Дослідженнями встановлено (табл. 3), що процес заморожування вплинув на хімічний склад пореподібних сумішей. Зокрема, відбулося зниження вмісту сухих розчинних речовин на 4,2–5,6 %, цукрів – на 5,5–7,7 %, аскорбінової кислоти – на 1,8–7,3 %.

## Деякі компоненти хімічного складу заморожених пюреподібних сумішей

Вид суміші	Масова частка, %			Цукрово-кислотний індекс	Вміст аскорбінової кислоти, мг/100 г
	сухих розчинних речовин	цукрів	органічних кислот*		
Пюре суничне (контроль)	5,9	4,8	1,0	4,7	67,7
Сунично (80 %)-абрикосова (20 %)	7,2	5,4	1,1	4,9	57,7
Сунично (60 %) - абрикосова (40 %)	8,4	6,3	1,3	5,1	46,6
Сунично (80 %)-вишнева (20 %)	7,6	5,9	1,1	5,2	54,2
Сунично (60 %)-вишнева (40 %)	9,2	7,2	1,1	6,6	43,8
Сунично (40 %) – абрикосово (30 %)-вишнева (30 %)	10,2	7,9	1,3	6,3	33,5
НІР <sub>05</sub>	0,2	0,2	0,03	0,2	0,9

\* у перерахунку на яблучну кислоту.

Дегустація заморожених пюреподібних сумішей показала (рис.), що заміна частини пюре суничного на абрикосове суттєво підвищила їхню органолептичну оцінку. Зокрема, суміші набули рожево-золотистого кольору, а їхня консистенція стала більш однорідною та стабільною. Натомість заміна частини пюре суничного на вишневе змінила забарвлення сумішей до більш інтенсивного червоного кольору, а консистенція стала розрідженою.

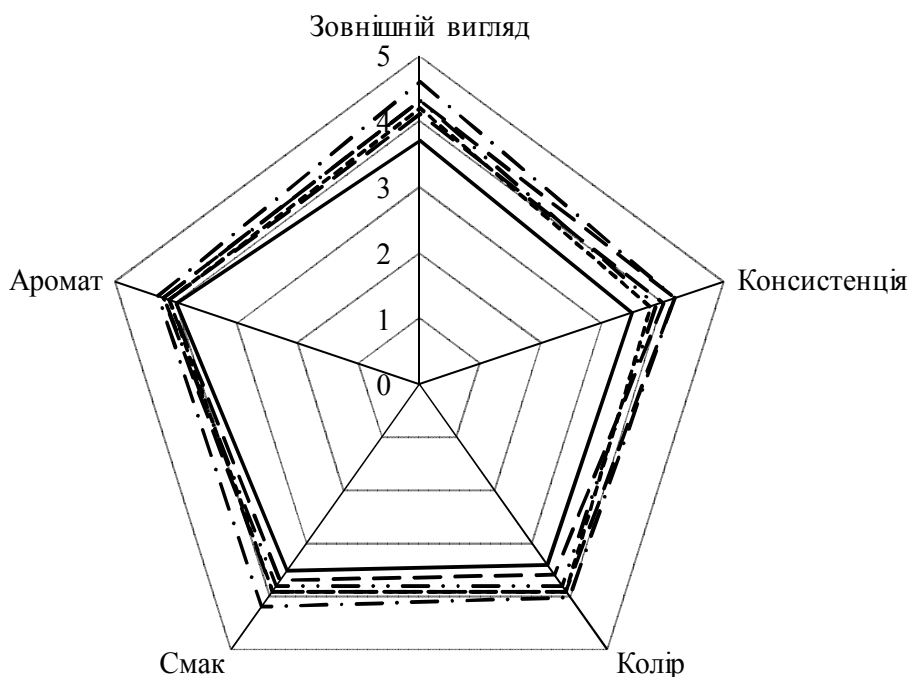


Рис. Органолептична оцінка пюреподібних сумішей, бал:

- Контроль
- - Сунично (80 %)-абрикосова (20 %)
- · Сунично (60 %)-абрикосова (40 %)
- · Сунично (80 %)-вишнева (20 %)
- - - Сунично (60 %)-вишнева (40 %)
- · · Сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишнева (30 %)

Найвищий бал за зовнішнім виглядом отримала сунично-абрикосово-вишнева суміш – 4,6 бала. Істотно вищими балами консистенції була оцінена консистенція сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневої (30 %) та сунично (60 %)-абрикосової (40 %) пюреподібних сумішей – 4,2 бала. Більш виражений аромат має сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишнева (30 %) суміш – 4,3 бала.

Підрахунки загальної дегустаційної оцінки сумішей показали переваги сунично (40%)-абрикосово (30 %)-вишневої (30 %) – 4,3 бала. Дещо нижчі показники – на 0,2 бала у сунично (60 %)-абрикосової (40 %).

**Висновки відповідно до статті.** Пюре суничне є доброю основою для виробництва заморожених пюреподібних сумішей, завдяки чому вони зберігають високий вміст аскорбінової кислоти та мають виражений аромат суниці. Введення в рецептуру сумішей пюре абрикосового та вишневого зумовлювало підвищення вмісту сухих розчинних речовин на 22,5–42,6 %, цукрів – на 25,2–38,2 %, проте спричиняло зростання їхньої кислотності на 0,1–0,3 % та зниження рівня аскорбінової кислоти на 15,4–48,0 %. Використання як добавки пюре абрикосового дозволяло отримати стабільну, не розшаровану консистенцію без застосування стабілізаторів, а додавання пюре вишневого – отриманню більш інтенсивного червоного забарвлення. За комплексом фізико-хімічних та органолептичних показників кращими визнано сунично (60 %)-вишневу (40 %) та сунично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневу (30 %) пюреподібні суміші.

#### Список використаних джерел

1. Сімахіна Г. О. Зміни біохімічних показників дикорослих ягід при заморожуванні [Електронний ресурс] / Г. О. Сімахіна, С. В. Халапсіна // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2015. – Т. 21, № 5. – С. 225–231. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht\\_2015\\_21\\_5\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2015_21_5_29).
2. Сімахіна Г. О. Отримання заморожених напівфабрикатів дикорослих ягід зі щільною покривною тканиною [Електронний ресурс] / Г. О. Сімахіна, С. В. Халапсіна // Наукові праці Національного університету харчових технологій. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 198–205. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht\\_2016\\_22\\_3\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2016_22_3_25).
3. Спосіб виробництва заморожених напівфабрикатів на основі журавлини та калини [Електронний ресурс] / Д. М. Одарченко, М. С. Одарченко, А. І. Кудряшов, О. О. Сюсель // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4 (10). – С. 31–33. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte\\_2013\\_4-10\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_4-10_9).
4. Гусейнова Б. М. Сортвые, биохимические и технологические особенности хранения, переработки и производства продуктов питания функционального назначения из плодово-ягодного сырья : автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук : спец. 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства» / Б. М. Гусейнова ; [Дагест. гос. аграр. ун-т им. М. М. Джембулатова]. – Махачкала, 2014. – 49 с.
5. Разработка пюреобразных десертов с герпротекторными свойствами на основе брусники [Электронный ресурс] / С. В. Журавлева, Ж. Г. Прокопец, Л. А. Текутьева [и др.] // Вестник Тихоокеанского государственного экономического университета. – 2013. – № 1. – С. 125–133. – Режим доступа : <http://elibrary.ru>.
6. Кварацхелия В. Н. Разработка технологии замороженных фруктово - ягодных десертов функционального назначения : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.01 «Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства» / В. Н. Кварацхелия ; Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ). – Краснодар, 2017. – 163 с.
7. Мукайлов М. Д. Многокомпонентные смеси из замороженного плодово-ягодного сырья / М. Д. Мукайлов, Б. М. Гусейнова // Производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов. – 2004. – № 3. – С. 28–30.
8. Методические указания по проведению исследований с быстрозамороженными плодами, ягодами и овощами. – М. : ВАСХНИЛ, 1984. – 25 с.



## References

1. Simakhina, H. O., Khalapsina, S. V. (2015). Zminy biokhimichnykh pokaznykiv dykoroslykh yahid pry zamorozhuvanni [Changes of biochemical indicators of wild berries during freezing]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii – Scientific Works of National University of Food Technologies*, 21 (5), 225–231. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht\\_2015\\_21\\_5\\_29](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2015_21_5_29).
2. Simakhina, H. O. & Khalapsina, S. V. (2016). Otrymannia zamorozhenykh napivfabrykativ dykoroslykh yahid zi shchilnoiu pokryvnoiu tkanynoiu [Getting frozen semi-finished wild berries with dense cover tissue]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii – Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii – Scientific Works of National University of Food Technologies*, 22 (3), 198–205. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht\\_2016\\_22\\_3\\_25](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2016_22_3_25).
3. Odarchenko, D. M., Odarchenko, M. S., Kudriashov, A. I. & Siusel, O. O. (2013). Sposib vyrobnystva zamorozhenykh napivfabrykativ na osnovi zhuravlyny ta kalyny [The manufacturing method of frozen semi-finished products based on cranberry and guelder rose]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (10), 31–33. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte\\_2013\\_4-10\\_9](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2013_4-10_9).
4. Guseinova, B. M. (2014). Sortovye, biokhimicheskie i tekhnologicheskie osobennosti khraneniia, pererabotki i proizvodstva produktov pitaniia funktsionalnogo naznacheniiia iz plodovo-iagodnogo syria [Varietal, biochemical and technological peculiarities of storage, processing and manufacturing of foodstuffs, made of fruits and berries, with a functional purpose]. (Extended abstract of candidate's thesis). Dagestan State Agrarian University named after M.Dzhambulatov, Mahachkala [in Russian].
5. Zhuravleva, S. V., Prokopets, Z. H. & Tekuteva, A (Eds.) (2013). Razrabotka piureobraznykh desertov s geroprotekturnymi svoistvami na osnove brusniki [Development of pastelike desserts with hero protective properties on blueberry basis]. *Vestnik Tikhookeanskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta – Bulletin of Pacific National University*, 1, 125-133. Retrieved from <https://elibrary.ru/item.asp?id=19032679>.
6. Kvaratekheliia, V. N. (2017). Razrabotka tekhnologii zamorozhenykh fruktovo - iagodnykh desertov funktsionalnogo naznacheniiia [Development of the technology of frozen fruit-berry desserts with a functional purpose]. (Candidate's thesis). Kuban State Agrarian University, Krasnodar [in Russian].
7. Mukailov, M. D. & Guseinova, B. M. (2004). Mnogokomponentnye smesi iz zamorozhennogo plodovo-iagodnogo syria [Multi-component mixtures made of frozen fruit-berry raw material]. *Proizvodstvo i realizaciya morozhennogo i bystrozamorozhennykh produktov – Production and sale of ice cream and quick-frozen products*, 3, 28–30 [in Russian].
8. *Metodicheskie ukazaniia po provedeniiu issledovaniu s bystrozamorozhennymi plodami, iagodami i ovoshchami [Methodical instructions for conducting researches with frozen fruits, berries and vegetables]* (1984). Moscow: VASKhNIL [in Russian].

UDC 664.851:634.75

Iryna Zamorska

### IMPROVEMENT OF THE CONSISTENCY OF FROZEN PASTELIKE MIXTURES BASED ON STRAWBERRY SAUCE

**Urgency of the research.** The increase in the nutrition culture of the population results in increasing demand for healthy foodstuffs which can provide a larger share of a daily need of man's organism in major food nutrients.

**Target setting.** Producing healthy foodstuffs is a very important task.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recently the increase of frozen convenience foods has been recorded. There are some achievements in making pastelike desserts with hero protective properties, frozen fruit-berry desserts of functional purpose and other variants of pastelike mixtures made of various kinds of fruits and berries.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** However, not all the fruits and berries ripen at the same time, have a balanced taste with an optimal correlation between sugars and acids, a considerable vitamin content, homogenous consistency after being processed for sauce.

**The research objective.** The purpose of the work is to make pastelike mixtures of fruits and berries of a various ripening term on the basis of strawberry sauce which have high vitamin value and stable, not stratified, consistency after defrosting.

**The statement of basic materials.** The quality of frozen paste-like mixtures based on strawberry sauce, when apricot and cherry ones were added later, was studied.

It was proved that adding mixtures of apricot and cherry sauces to a recipe caused the content increase of dry soluble substances by 22,5-42,6 %, that of sugars – by 25,2-38,2 %, but it caused acidity increase by 0,1–0,3 % and ascorbic acid decrease by 15,4–48,0 %.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

When pastelike mixtures were being frozen, there occurred the content decrease of dry soluble substances by 4,2-5,6 %, that of sugars – by 5,5-7,7 %, and ascorbic acid – 1,8-7,3 %. The substitution of some strawberry sauce with apricot one increased their organoleptic estimation considerably.

The summing up of the total tasting evaluation of mixtures showed the advantages of a strawberry (40 %)-apricot (30 %)-cherry (30 %) mixture – 4,3 points. A strawberry (60 %)-apricot (40 %) mixture had somewhat lower indicators – by 0,2 points.

**Conclusions.** Strawberry sauce is a good basis for making frozen paste-like mixtures, it helps them maintain high ascorbic acid content and they have a very good strawberry aroma. The use of apricot sauce, as an additive, enabled to get stable, not stratified, consistency without using stabilizers, and the addition of cherry sauce helped get more intensive red coloring. By a complex of physical-chemical and organoleptic indicators strawberry (60 %)-cherry (40 %) and strawberry (40 %)-apricot (30 %)-cherry (30 %) pastelike mixtures were chosen as the best ones.

**Keywords:** freezing; puree mixture; strawberry; chemical composition.

Table: 3. Fig.: 1. References: 8.

УДК 664.851:634.75

Ірина Заморська

## УЛУЧШЕНИЕ КОНСИСТЕНЦИИ ЗАМОРОЖЕННЫХ ПОРЕОБРАЗНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ПОРЕ ЗЕМЛЯНИЧНОГО

**Актуальность темы исследования.** Повышение культуры питания населения вызывает рост спроса на продукты питания оздоровительного назначения, способные обеспечивать значительную часть суточной потребности организма человека в основных пищевых нутриентах.

**Постановка проблемы.** Важной задачей является создание пищевых продуктов оздоровительного назначения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В последние годы на рынке наблюдается рост доли полуфабрикатов. Существуют разработки пюреобразных десертов с герпротекторными свойствами, замороженных фруктово-ягодных десертов функционального назначения и другие варианты пюреобразных смесей из различных видов плодов и ягод.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Однако не все плоды и ягоды одновременно созревают, имеют гармоничный вкус с оптимальным соотношением сахаров и кислот, значительное содержание витаминов, однородную консистенцию после переработки на пюре.

**Постановка задания.** Целью этой работы является создание пюреобразных смесей из плодов и ягод разного срока созревания на основе пюре земляничного, имеющих высокую витаминную ценность и стабильную, не расслоенную консистенцию после размораживания.

**Изложение основного материала.** Исследовали качество замороженных пюреобразных смесей на основе пюре земляничного с добавлением пюре абрикосового и вишневого.

Доказано, что введение в рецептуру смесей пюре абрикосового и вишневого обуславливало повышение содержания сухих растворимых веществ на 22,5–42,6 %, сахаров – на 25,2–38,2 %, кислотность на 0,1–0,3 %, снижение уровня аскорбиновой кислоты на 15,4–48,0 %.

Во время замораживания пюреобразных смесей произошло снижение содержания сухих растворимых веществ на 4,2–5,6 %, сахаров – на 5,5–7,7 %, аскорбиновой кислоты – на 1,8–7,3 %. Замена части пюре земляничного на абрикосовое существенно повысила их органолептическую оценку.

Подсчеты общей дегустационной оценки смесей показали преимущества землянично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневой (30 %) смеси – 4,3 балла. Несколько ниже показатели (на 0,2 балла) у землянично (60 %)-абрикосовой (40 %).

**Выводы в соответствии со статьей.** Пюре земляничное является хорошей основой для производства замороженных пюреобразных смесей, счет чего они сохраняют высокое содержание аскорбиновой кислоты и имеют выраженный аромат земляники. Использование в качестве добавки пюре абрикосового позволяло получить стабильную, не расслоенную консистенцию без применения стабилизаторов, а добавление пюре вишневого – получению более интенсивного красного цвета. По комплексу физико-химических и органолептических показателей лучшими признаны землянично (60 %)-вишневая (40 %) и землянично (40 %)-абрикосово (30 %)-вишневая (30 %) пюреобразные смеси.

**Ключевые слова:** замораживание; пюреобразная смесь; земляника; химический состав.

Табл.: 3. Рис.: 1. Библ.: 8.

**Заморська Ірина Леонідівна** – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, доцент кафедри технології зберігання і переробки плодів та овочів, Уманський національний університет садівництва (вул. Інститутська, 1, м. Умань, 20305, Україна).

**Заморская Ирина Леонидовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры технологии хранения и переработки плодов и овощей, Уманский национальный университет садоводства (ул. Институтская, 1, г. Умань, 20305, Украина).

**Zamorska Iryna** – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, 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>

УДК 620.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-195-205

Світлана Ягелюк, Валентина Ткачук, Оксана Речун

**ФОРМУВАННЯ РИНКУ ТЕХНІЧНИХ КУЛЬТУР В УКРАЇНІ**

**Актуальність теми дослідження.** Зростання частки екологічних сировинних матеріалів за рахунок збільшення виробництва та переробки технічних культур у сучасному виробництві в різних галузях є актуальним завданням. Ринок таких матеріалів в Україні лише починає формуватись. Є декілька причин його повільного розвитку: слабка екологічна свідомість споживачів, відсутність підтримки держави, адже в усьому світі такі виробництва є дотаційними, та ін. Тобто Україна є сировинним ресурсом, хоча здатна сама виробляти та використовувати технічні культури, починаючи від своїх потреб у медицині й закінчуючи будівельними матеріалами і пальним.

**Постановка проблеми.** Дослідження ринку енергетичних культур є актуальним, оскільки такий ринок лише починає розвиватися в Україні.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Ця проблема достатньо інтенсивно розглядається у працях закордонних учених: Х. Нойредіні (Neoureddini H., 1992), Б. Теох (Teoh B., 1992), Л. Девіс Клементс (Davis Clements L., 1992) та відомих вітчизняних науковців, таких як В. Семенов, В. Гайдаш, Б. Кочірко, Р. Цуркан, В. Сінько, В. Марченко, Г. Бурлака, С. Бойченко, які досліджували технологію виготовлення, споживні властивості біодизельного палива, роботу дизельного двигуна при його використанні. Проблемами формування ринку біоенергетичних ресурсів та його сегмента – біопалива – займаються багато науковців, а саме: І. Кириленко, В. Дем'янчук, Л. Гойсюк, Н. Мельник, Г. Калетнік та ін. Питання, пов'язані з виробництвом льоносировини в Україні, розглядалися у працях Л. Чурсіної, І. Карця та ін. Проблемам ефективності льонопромислового комплексу присвячені дослідження Т. Єсипчук, І. Карця, Н. Круглої, О. Локтя, С. Ягелюк та ін. Особливості вирощування енергетичної верби та її використання займаються такі українські науковці: Я. Фучило, В. Сінченко, М. Гументик.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Зважаючи на те, що зазначена проблема посідає чільне місце в дослідженнях та працях названих дослідників, залишається чимало невирішених питань науково-практичного змісту, що потребують подальшого дослідження та вирішення. Проте тенденції розвитку ринку технічних культур в Україні з урахуванням ситуації на світовому ринку розглянуті недостатньо.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є аналіз сучасного стану вітчизняного ринку технічних культур на прикладі ріпаку, льону (льону-довгунцю, льону олійного), технічної верби з урахуванням основних світових тенденцій вирощування та використання цих культур і запропонувати шляхи стосовно його подальшого розвитку.

**Виклад основного матеріалу.** Проаналізовано ринок технічних культур, таких як льон, ріпак та енергетична верба. Встановлені проблеми та особливості його розвитку. Досліджено напрямки формування та поширення цих культур в Україні з подальшим використанням у товарах народного споживання.

**Висновки відповідно до статті.** Отже, на сьогодні найбільш актуальними шляхами вирішення проблем для розвитку ринку технічних культур в Україні вбачаються: збільшення посівів льону, ріпаку та вирощування енергетичної верби, розвиток технологій з їх вирощування, технічна модернізація агропідприємств, вихід на максимальну потужність, розробка та впровадження нормативної бази, гармонізованої із законодавством ЄС. Одночасно потрібно провести економічні дослідження та розрахунки щодо розвитку галузі в майбутньому. І в будь-якому разі необхідно прагнути того, щоб результатом змін і перетворень ставало підвищення економічної ефективності господарської діяльності.

**Ключові слова:** технічні культури; льон; ріпак; технічна верба; експорт; імпорт.

Табл.: 3. Рис.: 3. Бібл.: 26.

**Постановка проблеми.** Зростання частки екологічних сировинних матеріалів за рахунок збільшення виробництва та переробки технічних культур у сучасному виробництві в різних галузях є актуальним завданням. Ринок таких матеріалів в Україні лише починає формуватись. Є декілька причин його повільного розвитку: слабка екологічна свідомість споживачів, відсутність підтримки держави, адже у всьому світі такі виробництва є дотаційними, та ін. Тобто Україна є сировинним ресурсом, хоча здатна сама виробляти та використовувати технічні культури, починаючи від своїх потреб у медицині, закінчуючи будівельними матеріалами і пальним. Для цього є законодавчий, науковий і технічний потенціал.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Ця проблема достатньо інтенсивно розглядається у працях закордонних учених: Х. Нойредіні (Neoureddini H., 1992), Б. Теох (Teoh B., 1992), Л. Девіс Клементс (Davis Clements L., 1992) [25] та відомих вітчизняних науковців, таких як В. Семенов [14], В. Гайдаш, Б. Кочірко, Р. Цуркан, В. Сінько, В. Марченко, Г. Бурлака, С. Бойченко [3], які досліджували технологію виготовлення, споживні властивості біодизельного палива, роботу дизельного двигуна при його використанні. Проблемами формування ринку біоенергетичних ресурсів та його сегмента – біопалива – займаються багато науковців, а саме: І. Кириленко, В. Дем'янчук [9], Л. Гойсюк, Н. Мельник, Г. Калетнік та ін. Питання пов'язані з вироб-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ництвом льоносировини в Україні розглядалися у працях Л. Чурсіної, І. Карпця та ін. [4, 22]. Проблемам ефективності льонопромислового комплексу присвячені дослідження Т. Єсипчук [6], І. Карпця [8], Н. Круглої [10], О. Локтя [11], С. Ягелюк [20] та ін. Особливості вирощування енергетичної верби та її використання займаються такі українські науковці: Я. Фучило, В. Сінченко, М. Гументик [18].

**Виділення недосліджених частини загальної проблеми.** Зважаючи на те, що зазначена проблема посідає чільне місце в дослідженнях та працях названих дослідників, залишається чимало невирішених питань науково-практичного змісту, що потребують подальшого дослідження та вирішення. Проте тенденції розвитку ринку технічних культур в Україні з урахуванням ситуації на світовому ринку розглянуті недостатньо.

**Метою дослідження є** аналіз сучасного стану вітчизняного ринку технічних культур на прикладі ріпаку, льону (льону-довгунцю, льону олійного), технічної верби з врахуванням основних світових тенденцій вирощування та використання цих культур і запропонувати шляхи стосовно його подальшого розвитку.

**Виклад основного матеріалу.** В Україні існують сприятливі умови для вирощування технічних культур, які можна використовувати як сировину для виробництва текстилю різного призначення, одягу, господарських товарів, будівельних матеріалів, палива, зокрема, це льон, ріпак, енергетична верба та інші.

Згідно з офіційними даними Державної служби статистики України [13] у 2015 році в Україні було зібрано технічних культур, враховуючи ріпак, льон-довгунець 50 172 млн грн, у тому числі й господарствами населення (табл. 1).

Таблиця 1

*Виробництво технічних культур в Україні у 2015 році*

Рослинництво	Усі категорії господарств		У тому числі			
			сільськогосподарські підприємства		господарства населення	
	млн грн	у % до підсумку	млн грн	у % до підсумку	млн грн	у % до підсумку
Технічні культури	50 172,8	21,0	44 539,3	33,8	5633,5	5,2

Джерело: [13].

Розглянемо детальніше такі культури, як ріпак, льон, технічна верба. В основному в Україні ріпак вирощується в таких областях: Вінницька (9-28 %), Тернопільська (5-8 %), Херсонська (7-9 %), Хмельницька (6-8 %), Івано-Франківська (4-5 %), Львівська (7-11 %), Київська (3-6 %), Черкаська (4-6 %) та Одеська (3-16 %). У цих регіонах виробляється 85-90 % всього обсягу рапсу. В Україні збирають озимий (70-90 %) та яровий ріпак (кольза). Лідерами є Вінницька та Тернопільська області, де ріпак вирощується на 41 тис. га і 2,3 тис. га відповідно [1].

Ріпак широко використовують для виробництва біодизельного палива, незаперечною перевагою якого є екологічна чистота та можливість його отримувати з відновлюваної сировини. Іншими перевагами цієї культури є відсутність проблеми зі збутом, стабільно високі ціни, стійкий попит з боку іноземних покупців, адже нині тема біодизельного палива все ще потужно лунає в країнах Західної Європи. В Німеччині, Франції, Австрії, Голландії, а також у США, Канаді, Китаї збудовано чимало заводів і місцевого виробництва ріпаку не вистачає для їх завантаження. Сусіди України теж опанували цей напрям: Польща, Чехія, Словаччина нині збільшують посіви ріпаку. У зазначених країнах, за сприятливих кліматичних умов і технологічного забезпечення виробництва ця культура показує високий рівень рентабельності. За даними Державної служби статистики України, площі збирання ріпаку в 2015 році становили 865 тис. га, що на 12 % менше попереднього року (рис. 1). Врожай був зібраний обсягом 2,2 млн т. Середня врожайність становила 25,4 ц/га. Таким чином, у 2014 році, незважаючи на

підвищення врожайності порівняно з 2013 роком на 1,8 ц/га, загальне виробництво цього насіння зменшилося на 5 %. Отже, за обсягами виробництва олійних культур в Україні ріпак поступається соняшнику та соєвим бобам.

Загалом за підсумками 2014/15 МР Україна експортувала 1,96 млн т насіння ріпаку, що на 11 % менше показника сезоном раніше, але на 55 % вище показника сезону 2012/13.

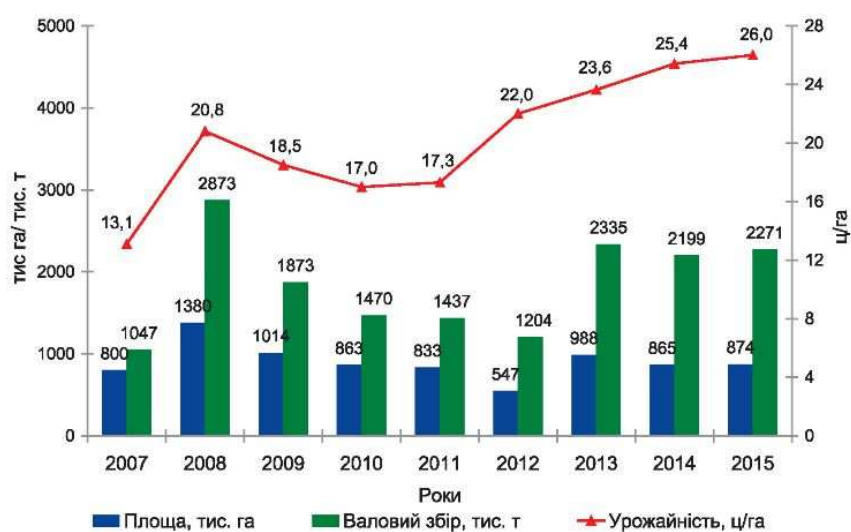
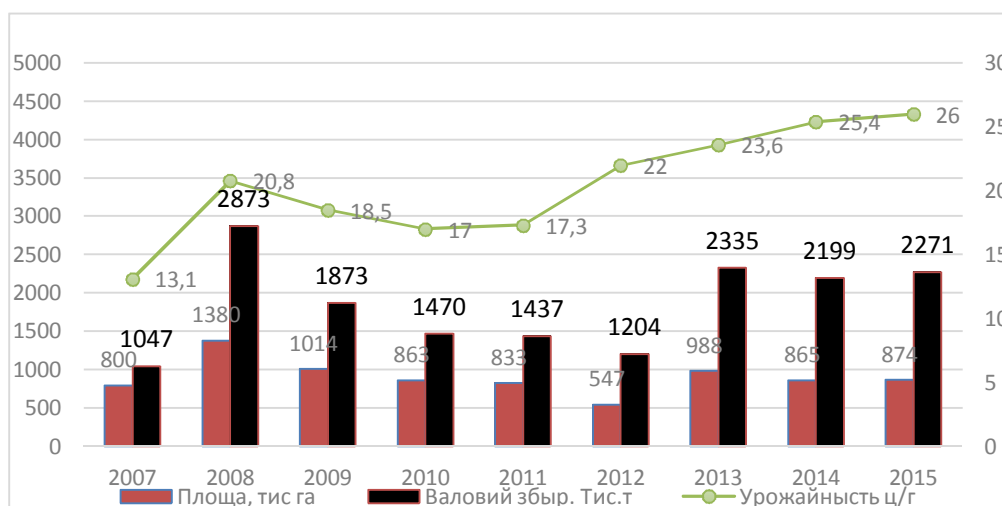


Рис. 1. Динаміка виробництва ріпаку в Україні

Джерело: [7].

Експортний потенціал насіння ріпаку в 2015/16 МР оцінюється аналітиками ІА «АПК-Інформ» на рівні 1,6 млн т, що нижче показника минулого сезону на 18 % [17]. Експорт ріпаку в нинішній ситуації зумовлений відсутністю можливостей його переробки. Потужності вітчизняних олієжирових комбінатів оцінюється на рівні 15 млн т на рік, проте технології більшості переробних підприємств не мають можливість переробляти ріпак. До того ж переробники традиційно віддають перевагу соняшнику, адже збут олії та шроту краще налагоджений усередині країни та за її межами.

Проте слід врахувати, що за великими масштабами виробництва біопалива з сільськогосподарських культур можливі відчутні негативні наслідки для продовольчого забезпечення і сталого розвитку сільського господарства. Це пояснюється тим, що з наростаючою продовольчою кризою у світі, цей альтернативний сільськогосподарський напрям, розвиток якого останнім часом отримав істотний політичний і економічний

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

стимул, викликав багато дискусій. По-перше, безсумнівно, жорстокішою стане конкуренція продовольчих і енергетичних культур, загостриться і набуде особливої вагомості проблема забезпечення національної продовольчої безпеки. По-друге, можна очікувати посилення виснаження сільськогосподарських угідь. По-третє, обмеженими будуть масштаби консервації деградованих малопродуктивних земель, а також трансформації їх під заліснення й ренатуралізацію в природні біогеоценози [15].

Виробництво біодизельного палива в Україні не налагодилось, адже має законодавчі обмеження. Масштабне промислове виробництво цього палива з ріпакової олії можливе за умови залучення інвестицій у будівництво переробних потужностей, формування гарантованого сировинного забезпечення, що передбачає як розширення посівних площ, так і досягнення стабільно високої урожайності ріпаку.

Україна – країна, яка відповідає всім необхідним умовам для вирощування ще однієї важливої технічної культури – льону. Проте в процесі трансформації української економіки вирощування льону опинилось у повному занепаді. Це відбувається в той час, коли попит на вироби з льону постійно зростає, оскільки властивості лляної сировини не можуть замінити інші сучасні матеріали. Сільськогосподарська культура льону не вимагає великих економічних витрат під час вирощування. Природні та кліматичні умови в Україні, особливо Полісся, дозволяють льону нашої країни мати високу екологічність, оскільки його вирощування не потребує застосування хімічних добрив, що на сьогодні є великою перевагою на світовому ринку [2; 4; 16; 19; 20].

Близько 80 % усієї сировини, що імпортується, на український ринок поступає з Бельгії та Франції, які є найбільшими світовими експортерами льоноволокна. Попит є на льон тіпаний, чесаний або оброблений. Тоді як з України вивозяться лляні очоси і відходи, експорт яких з кожним роком збільшується. Головним покупцем цієї продукції останніми роками є Литва (табл. 2, побудована за даними [21]). На неї припадає до 80 % усього українського експорту очосів і відходів льону.

Таблиця 2

*Зведені дані експорту та імпорту з/в Україну льоноволокна та відходів льоносировини*

Країна	Вид	Ім'я елемента	Роки		
			2011	2012	2013
1	2	3	4	5	6
Австрія	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	20	-	-
		Експорт, тис. дол.	22	-	-
Білорусь	Волокно і пряжа	Імпорт, тис. т	129	166	-
		Імпорт, тис. дол.	123	143	-
Бельгія	Волокно і пряжа	Імпорт, тис. т	10	-	-
		Імпорт, тис. дол.	26	-	-
Китай	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	294	167	503
		Експорт, тис. дол.	409	192	675
	Відходи льоносировини	Імпорт, тис. т	2	0	-
		Імпорт, тис. дол.	2	1	-
Чеська Республіка	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	51	179	-
		Експорт, тис. дол.	30	76	-
Єгипет	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	-	-	20
		Експорт, тис. дол.	-	-	17
	Волокно і пряжа	Імпорт, тис. т	102	47	105
		Імпорт, тис. дол.	122	102	215
	Відходи льоносировини	Імпорт, тис. т	-	-	25
		Імпорт, тис. дол.	-	57	-

1	2	3	4	5	6
Франція	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	-	20	-
		Експорт, тис. дол.	-	30	-
Німеччина	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	20	-	-
		Експорт, тис. дол.	13	-	-
Литва	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	57	223	132
		Експорт, тис. дол.	32	136	31
Румунія	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	9	319	80
		Експорт, тис. дол.	25	363	86
Іспанія	Волокно і пряжа	Експорт, тис. т	-	65	-
		Експорт, тис. дол.	-	55	-

Джерело: побудована на основі даних [21].

Маркетингові дослідження кон'юнктури світового ринку та попиту на продукцію текстильної промисловості, проведені на основі оглядів міжнародних виставок моди, тканин і трикотажу (PremierVision Paris, ModaIn, Milan), свідчать, що лляні тканини, льоновомісні полотна та вироби з лляних волокон є лідером не тільки на сьогоднішньому ринку, але й у майбутньому [22; 26; 23; 24]. На європейському ринку потреба в льоноволокні становить 120 тис. т на рік та має тенденцію зростання (рис. 2). У тих самих обсягах оцінюється попит американського ринку. На сьогодні потреба у лляному волокні задовольняється на 70–80 %. Нині безперечними світовими лідерами в лляній галузі є Франція та Китай. Так, Китай володіє найбільшою часткою обсягу льоноволокна, що виробляється та споживається. Китайські лляні вироби у зв'язку з дешевизною є серйозними конкурентами для європейських виробів. На митних складах країн ЄС сьогодні знаходиться стільки лляних виробів китайського виробництва, що вистачило б по одній речі на кожного третього жителя Європи [22; 26; 23] (рис. 3).

Потреби внутрішнього ринку у вітчизняних тканинах із лляними волокнами побутового призначення задовольняються на 0,6 % раціональної потреби. Зміни у виробництві льону-довгунцю на волокно за останні десятиліття в Україні можна прослідкувати за даними, наведеними у табл. 3. Аналіз виробництва льоносировини для текстильної промисловості в Україні за 2013 [13] показав, що виробниками льону-довгунцю залишаються Житомирська, Львівська, Сумська, Хмельницька, Чернігівська області. На сьогодні в Україні основні об'єми виробництва льону-довгунцю зосереджені в сільськогосподарських підприємствах. Тільки у Хмельницькій області виробництвом льоносировини займаються індивідуальні господарства населення. Проте, якщо звернути увагу на врожайність та валовий збір льонопродукції, можна бачити, що ці значення набагато вищі для індивідуальних господарств, ніж для великих підприємств. Тому для сучасного етапу розвитку виробництва льоносировини в Україні одним із напрямків виходу з кризового стану може бути вирощування його реформованими індивідуальними господарствами населення на невеликих площах. Тому, беручи до уваги багаторічний досвід та можливості у виробництві льону-волокна в Україні, особливої актуальності набуває питання розробки стратегії розвитку льонарства та конкурентоспроможності льоноволокна на світовому ринку.

Таблиця 3

*Виробництво льону-довгунцю на волокно в Україні*

Сировина	Рік							
	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014
Валовий збір, тисяч тонн								
Льон-довгунець (волокно)	108,1	48,2	8,3	12,7	0,4	1,8	1,1	0,9
Урожайність, центнерів з 1 га зібраної площі								
Льон-довгунець (волокно)	6,4	5,0	4,2	5,4	4,0	8,6	7,3	6,3

Джерело: побудовано на основі даних [13].

Ще однією перспективною технічною рослиною є енергетична верба. У нашій державі цей напрям почав активно поширюватися в останні роки, коли окремі компанії почали у промисловому масштабі створювати плантації енергетичних рослин, особливо різних сортів верби.

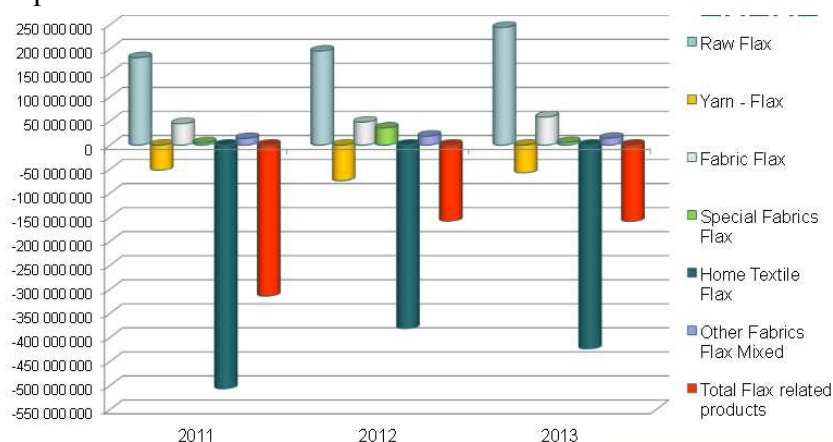


Рис. 2. Торговий баланс ЄС (€) текстильних лляних виробів і споріднених продуктів

Джерело: [24].

Загалом Україна має великий біоенергетичний потенціал і за умови повноцінного використання малопродуктивних земель здатна повністю його використати для створення сировинної бази відновлювальної енергетики. Саме енергетичні плантації верби при цьому повинні зайняти одне з провідних місць.

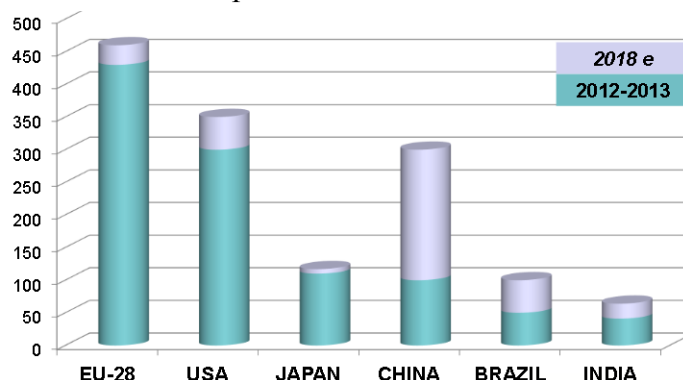


Рис. 3. Світове споживання одягу з лляних матеріалів та очікуване (до 2018 р.) споживання у мільярдах доларів

Джерело: [24].

Один гектар плантації енергетичної верби поглинає з повітря понад 200 т CO<sub>2</sub> за 3 роки. Ідеально підходить для засадження забруднених та земель, малопродуктивних з погляду вирощування сільськогосподарських культур. Ефективно застосовується у протиерозійних заходах для укріплення ґрунтів. Збагачує ґрунти поживними речовинами природного походження завдяки тому факту, що за період зростання верба підіймає через коріння з глибоких шарів ґрунту мінерали й мікроелементи та через опале листя вертає все це до ґрунту. Плантації енергетичної верби є природними фільтрами для видалення відходів агропромислового виробництва, застосовуються як буферні зони в місцях накопичення біологічних відходів фермерських господарств. Енергетична верба є природним фільтром для очищення ґрунтів від пестицидів. При спалюванні біомаси не утворюється більше вуглекислого газу, ніж було поглинуто рослиною за життя, оскільки останні в процесі фотосинтезу засвоюють цей газ. Отже, ті обсяги CO<sub>2</sub>, що виділяються при спалюванні біомаси, і ті, що споживаються рослинами протягом їх росту, врівноважують одне одного.



Використання лози як екологічно чистого джерела енергії має велике значення для України. По-перше, біологічне паливо може стати більш дешевою та доступною альтернативою дорогим видам палива, що імпортуються в Україну з-за кордону. А це в свою чергу сприятиме зменшенню нинішнього високого рівня залежності від іноземних постачальників енергоресурсів. По-друге, виробництво палива з біомаси має велике екологічне значення, оскільки зменшує емісію парникових газів в атмосферу.

Верба відноситься до легких порід деревини з густиною  $460 \text{ кг/м}^3$  при нормальній вологості 12 %. Для порівняння, сосна має подібну густину  $510\text{--}520 \text{ кг/м}^3$  (за різними даними). Теплота згорання (нижча) сухої вербової деревини дорівнює нижчій теплоті згорання хвойних порід та становить  $18,5 \text{ МДж/кг}$ . Тріска, отримана при збиранні врожаю, має вологість 50–55 % та нижчу теплоту згорання  $8 \text{ МДж/кг}$  або  $1900 \text{ ккал/кг}$ . Ці показники свідчать про можливість використання вербової тріски з високим КПД в сучасних котлах на киплячому шарі, які сьогодні успішно починають використовувати в нашій країні. Верба є хорошою сировиною для виготовлення пелет. Пелети – це пресований виріб циліндричної форми переважно з пресованої стружки, що є результатом деревообробки. При згоранні вони віддають таку кількість  $\text{CO}_2$ , яку увібрали в себе, будучи деревом: на відміну від газу й рідкого палива – рівний баланс. Український ринок пелет в основному орієнтований на європейських споживачів: до 85 % української продукції експортується. На сьогодні щорічне виробництво деревних пелет в Україні становить близько 400 тис т, така ж кількість пелет виготовляється із соломи та соняшнику. Поки що ринок знаходиться на початковому етапі розвитку та щорічно зростає на 15–20 %. Більше того, теоретично існує значний потенціал зростання: близько 2 млн  $\text{м}^3$  деревних відходів залишаються невикористаними. З урахуванням усіх можливих наявних джерел сировини, Україна могла б виробляти 3,5–4 млн. т на рік. Збільшенню виробництва також сприятиме використання енергетичної лози, що дасть змогу розширити сировинну базу. Важливим стимулюючим фактором застосування пелет є енергетична безпека. Використання місцевих ресурсів дозволить зменшити залежність від ризиків використання російського газу та забезпечить надійність енергопостачання. Основною складовою виготовлення пелет є сировина та транспортні витрати з її постачання. В собівартості продукції ці витрати становлять 70–80 %.

**Висновки відповідно до статті.** Отже, на сьогодні найбільш актуальними шляхами вирішення проблем для розвитку ринку технічних культур в Україні вбачаються: збільшення посівів льону, ріпаку та вирощування енергетичної верби, розвиток технологій з їх вирощування, технічна модернізація агропідприємств, вихід на максимальну потужність, розробка та впровадження нормативної бази, узгодженої із законодавством ЄС. Одночасно потрібно провести економічні дослідження та розрахунки щодо розвитку галузі в майбутньому. І в будь-якому разі необхідно прагнути того, щоб результатом змін і перетворень ставало підвищення економічної ефективності господарської діяльності.

#### Список використаних джерел

1. *Божидарнік Т. В.* Проблеми і перспективи формування і розвитку ринку біопалив в Україні / Т. В. Божидарнік, В. В. Ткачук, О. Ю. Речун // Економічний часопис–XXI. – 2014. – № 11-12. – С. 45–48.
2. *Бойко Г. А.* Товарознавча оцінка змішаної пряжі з волокнами льону олійного для трикотажних виробів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.08 / Г. А. Бойко. – Луцьк, 2014. – 20 с.
3. *Бойченко С. В.* Моторные топлива и масла для современной техники : монография / С. В. Бойченко, С. В. Иванов, В. Г. Бурлака. – К. : НАУ, 2005. – 216 с.
4. *Виробництво льноволокна та його використання* / І. П. Карпець, А. Ф. Скорчено, О. П. Чурсіна та ін. – К. : Нора-прінт, 2002. – 128 с.
5. *Гойсюк Л. В.* Економічна ефективність виробництва сировини для переробки на біопаливо / Л. В. Гойсюк // Економіка АПК. – 2010. – № 6. – С. 46.
6. *Єсипчук Т. П.* Стратегічні напрями розвитку зовнішньої торгівлі продукцією льонопромислового під комплексу України / Т. П. Єсипчук // Економіка АПК. – 2003. – № 2. – С. 92–97.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. *Калетник Г.М.* Біопаливо: продовольча, енергетична та екологічна безпека України / Г. М. Калетник // Біоенергетика = Bioenergy : Всеукраїнський науково-виробничий журнал. – 2013. – № 2. – С. 12–14.
8. *Карпець І. П.* Якість продукції льону-довгунця і олійного за різних способів сівби і удобрення / І. П. Капець, О. М. Дрозд // Вісн. аграр. науки. – 2005. – № 6. – С. 21–24.
9. *Кириленко І. Г.* Формування ринку українського біопалива: передумови, перспективи, стратегія / І. Г. Кириленко, В. В. Дем'янчук, Б. В. Андрущенко // Економіка АПК. – 2010. – № 4. – С. 62.
10. *Кругла Н. А.* Історія розвитку льонарства в Україні (друга половина XIX–XX століття) : дис. ... канд. іст. наук : спец. 07.00.07 / Н. А. Кругла. – К., 2002. – 185 с.
11. *Локоть О. Ю.* Порівняльна оцінка ефективності різних видів комплексних мінеральних добрив при внесенні під льон-довгунець сорту гліум [Електронний ресурс] / О. Ю. Локоть, Ю. В. Садченко, Ю. П. Корнута. – Режим доступу : [nbuv.gov.ua/old\\_jrn/Chem\\_Biol/znpilk/2009\\_5/staty\\_5/Lokot\\_Sadchenko\\_Kornuta.pdf](http://nbuv.gov.ua/old_jrn/Chem_Biol/znpilk/2009_5/staty_5/Lokot_Sadchenko_Kornuta.pdf).
12. *Пиріков О. В.* Практичний посібник з поетапного підходу до висадки енергетичних рослин / О. В. Пиріков. – К., 2016. – С. 12–35.
13. *Рослинництво України: Статистичний збірник* [Електронний ресурс] // Державна служба статистики України. – Режим доступу : [ukrstat.org](http://ukrstat.org).
14. *Семенов В. Г.* Гармонізація національного стандарту на біодизельне паливо до європейського та американського стандартів / В. Г. Семенов // Матеріали I Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології» (15–19 травня 2006 р.). – К. : Книжкове вид-во НАУ, 2006. – С. 119–121.
15. *Скорук О. П.* Розвиток ринку біопалива в Україні та світі / О. П. Скорук, І. А. Здор // Збірник наукових праць ВНАУ. Серія: Економічні науки. – 2012. – № 1. – С. 30–36.
16. Сучасний стан льонарства і коноплярства в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [usw.com.ua/profiles/blogs/suchasnij-stan-lonarstva-i](http://usw.com.ua/profiles/blogs/suchasnij-stan-lonarstva-i).
17. *Україна* нарощує експорт ріпаку в країни Південної Азії [Електронний ресурс] // Аграрне інформаційне агентство. – 18 липня 2015. – Режим доступу : [agravegy.com](http://agravegy.com).
18. *Фучило Я. Д.* Особливості вирощування енергетичної верби / Я. Д. Фучило, В. М. Сінченко, М. Я. Гументик // Біоенергетика. – 2016. – № 1. – С. 11–13.
19. *Чурсіна Л. А.* Основи фундаментальних досліджень комплексної переробки луб'яних культур : навч. посіб. / Л. А. Чурсіна, К. М. Клевцов, Є. О. Калінський. – Херсон : ВКФ «СТАР» ЛТД, 2009. – 172 с.
20. *Ягелюк С. В.* Стан ринку льняної сировини в Україні та світі / С. В. Ягелюк / Товарознавчий вісник : збірник наукових праць. – Луцьк : ЛНТУ, 2016. – Вип. 9. – С. 86–92.
21. *FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS* Statistics Division: Statistics Division [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.
22. *Fashion* changing the world [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fashionchangingtheworld.com/textile-innovations/organic-and-fair-trade-uk-based-fabric-shops>.
23. *Global Linen Fabric Market* expected to grow at a five-year compound a CAGR of 4.78 % [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.gosreports.com/global-linen-fabric>.
24. *Global Textil Market Over View& Linen Focus* [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://www.mastersoflinen.com/img/pdf3s/EURATEX\\_A\\_PACCANELLI\\_FOR\\_CELC\\_7112014.pdf](https://www.mastersoflinen.com/img/pdf3s/EURATEX_A_PACCANELLI_FOR_CELC_7112014.pdf).
25. *Neoureddini H.* Viscosities of Vegetable Oils and Fatty Acids / H. Neoureddini, B.C. Teoh, L. Davis Clements // Journal of the American Oil Chemists' Society. – 1992. – Vol. 69, № 12. – Pp. 189–191.
26. Persistence market research [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [www.persistencemarketresearch.com/market-research/linen-fabric-market.asp](http://www.persistencemarketresearch.com/market-research/linen-fabric-market.asp).

**References**

1. Bozhydarnik, T. V., Tkachuk, V. V. & Rechun, O. Yu. (2014). Problemy i perspektyvy formuvannya i royvytku rynku biopalyv v Ukraini [Problems and prospects of formation and development of the biofuels market in Ukraine]. *Ekonomichnyi chasopys–XXI – Economic Annals–XXI*, 11-12, 45–48. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado\\_2014\\_11-12\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecchado_2014_11-12_12).

2. Boiko, H. A. (2014). Tovaroznavcha otsinka zmishanoi priazhi z voloknzmy lionu oliinoho dla trykotazhnykh vyrobiv [Merchandising evaluation of blended yarns with flax fibers for knitwear]. (*Candidate's thesis*). LNTU, Lutsk [in Ukrainian].
3. Boichenko, S. V., Ivanov, S. V. & Burlaka, V. H. (2005). *Motornye topliva i masla dlya sovremennoy tekhniki [Motor fuels and oils for modern technology]*. Kyiv: National Academy of Sciences of Ukraine [in Russian].
4. Karpets, I. P., Karpets, I. P., Skorchenko, A. F. & Chursina, O. P. (2002). *Vyrobnytstvo lionovolokna ta ioho vykorystannia [The production of flax fiber and its use]*. Kyiv: Nora-print [in Ukrainian].
5. Hosiuk, L. V. (2010). Ekonomichna efektyvnist vyrobnytstva syrovyny dla pererobky na biopalyvo [The economic efficiency of the production of feedstock for biofuels]. *Ekonomika APK – The Economy of Agro-Industrial Complex*, 6, 46 [in Ukrainian].
6. Yesypchuk, T. P. (2003). Stratehiczni napriamy rozvytku zovnishnioi torhivli produktyiieu lionopromyslovoho pidkompleksu Ukrainy [Strategic directions of development of external trade in products under nonpromiscuous complex of Ukraine]. *Ekonomika APK – The Economy of Agro-Industrial Complex*, 2, 92–97 [in Ukrainian].
7. Kaletnik, H. M. (2013). Biopalyvo: prodovolcha, enerhetychna ta ekolohichna bezpeka Ukrainy [Biofuels: the food, energy and ecological safety of Ukraine]. *Bioenerhetyka – Bioenergy*, 2, 12–14 [in Ukrainian].
8. Karpets, I. P., Drozd, O. M. (2005). Yakist produktsii lionu-dovhuntsia i oliinoho za riznykh sposobov sivby I udobrennia [The quality of the products of flax and oil crops for different sowing methods and fertilizers]. *Visnzak ahrarnoi nauky – Bulletin of agricultural science*, 6, 21–24 [in Ukrainian].
9. Kyrilenko, I. H., Demianchuk, V. V. & Andriushchenko, B. V. (2010). Formuvannia rynku ukrainskoho biopalyva: peredumovy, perspektyvy, stratehiia [The formation of the Ukrainian market of biofuel: background, prospects, strategy]. *Ekonomika APK – The Economy of Agro-Industrial Complex*, 4, 62 [in Ukrainian].
10. Kruhla, N. A. (2002). Istoriia rozvytku lomarstva v Ukraini (druga polovyna XIX-XX stolittia) [The history of flax growing in Ukraine (the second half of the XIX - XX century)]. *Candidate's thesis*. Kyiv: State Institution "Institute for Scientific and Technological Potential and Science History Studies. AHEM. Dobrov NAS of Ukraine [in Ukrainian].
11. Lokot, O. Yu., Sadchenko, Yu. V. & Kornuta, Yu. P. (2009). *Porivnialna otsinka efektyvnosti riznykh vydiv kompleksnykh mineralnykh dobryv pry vnesenni pid lion dovhunets sorty hlinum [Comparative evaluation of the effectiveness of various types of complex mineral fertilizers when you make a flax varieties glenum]*. Retrieved from [nbuv.gov.ua/old\\_jrn/Chem\\_Biol/znplk/2009\\_5/staty\\_5/Lokot\\_Sadchenko\\_Kornuta.pdf](http://nbuv.gov.ua/old_jrn/Chem_Biol/znplk/2009_5/staty_5/Lokot_Sadchenko_Kornuta.pdf).
12. Pyrikov, O. V. (2016). *Praktychnyi posibnyk poetapnogo pidhodu do vysadky enerhetychnykh roslyn [Practical guide for the phased approach to planting energy crops]*. Retrieved from [http://bioenergy.in.ua/media/filer\\_public/71/2c/712c18e5-150f-41c3-acdf-5adcf671ccb0/kniga\\_pervaia\\_polnaia\\_verba.pdf](http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/71/2c/712c18e5-150f-41c3-acdf-5adcf671ccb0/kniga_pervaia_polnaia_verba.pdf).
13. *Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy [State statistics service of Ukraine]*. (n.d.). Roslynnytstvo Ukrainy: Statystychnyi zbirnyk [Crop production in Ukraine: statistical collection]. [ukrstat.org](http://ukrstat.org) [in Ukrainian].
14. Semenov, V. H. (2006). *Harmonizatsiia natsionalnogo standartu na biodyselne palyvo do ievropeiskoho i amerykanskooho standartiv [Harmonization of national standard for biodiesel to European and American standards]*. Proceedings from *Materialy I mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii "Problemy himmitilohii" [Materials of I International scientific-technical conference "Problems of hematology"]* (pp. 119–121). Kyiv: Publishing house NAU [in Ukrainian].
15. Skoruk, O. P. & Zdor, I. A. (2012). Rozvytok rynku biopalyva v Ukraini ta sviti [Development of the market of biofuels in Ukraine and the world]. *Zbirnyk naukovykh prats VNAU. Serii: Ekonomichni nauky – Collection of scientific works of Vinnytsia national agrarian University. Series: Economic science*, 1, 30–36 [in Ukrainian].
16. Suchasnyi stan lionsrstva i konopliarstva v Ukraini [The modern state of flax and konoplyasty in Ukraine]. Retrieved from [sww.com.ua/profiles/blogs/suchasnij-stan-lonarstva-i](http://sww.com.ua/profiles/blogs/suchasnij-stan-lonarstva-i).
17. *Ukraina naroshchyie eksport ripaku v krainy Pivdennoi Azii [Ukraine increases export of rapeseed in South Asia]* (2015). *agravery.com*. Retrieved from <http://agravery.com/uk/posts/show/ukraina-narosue-eksport-ripaku-v-kraini-pivdennoi-azii>.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

18. Fuchylo, Ya. D., Sinchenko, V. M. & Humentyk, M. Ya. (2016). Osoblyvosti vyroshchuvannya enerhetychnoi verby [Features of cultivation of energy willow]. *Bioenerhetyka – Bioenergy*, 1, 11–13 [in Ukrainian].

19. Chursina, L. A., Klietsov, K. M. & Kalinskyi, Ye. O. (2009). *Osnovy fundamentalnykh doslidzhen kompleksnoi pererobky lubianykh kultur [The basics of fundamental studies of complex processing of bast crops]*. Kherson: VKF “STAR” LTD [in Ukrainian].

20. Yaheliuk, S. V. (2016). Stan rynku lnianoi syrovony v Ukraini ta sviti [The condition of the market of flax raw materials in Ukraine and abroad]. *Tovaroynavchui visnyk – Merchandising Bulletin*, 9, 86–92 [in Ukrainian].

21. Food and agriculture organization of the united nations. Statistics Division. [www.fao.org](http://www.fao.org). Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#home>.

22. Fashion changing the world. [www.fashionchangingtheworld.com](http://www.fashionchangingtheworld.com). Retrieved from <http://www.fashionchangingtheworld.com/textile-innovations/organic-and-fair-trade-uk-based-fabric-shops>.

23. Global Linen Fabric Market expected to grow at a five-year compound a CAGR of 4.78 %. <http://www.gosreports.com/>. Retrieved from <http://www.gosreports.com/global-linen-fabric>.

24. Global Textil Market Over View& Linen Focus. [www.mastersoflinen.com](http://www.mastersoflinen.com). Retrieved from [https://www.mastersoflinen.com/img/pdf3s/EURATEX\\_A\\_PACCANELLI\\_FOR\\_CELC\\_7112014.pdf](https://www.mastersoflinen.com/img/pdf3s/EURATEX_A_PACCANELLI_FOR_CELC_7112014.pdf).

25. Neoureddini, H., Teoh, B. C. & Davis, C. L. (1992). Viscosities of Vegetable Oils and Fatty Acids. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 69 (12), 189–191 [in English].

26. Persistence market. [www.persistencemarketresearch.com](http://www.persistencemarketresearch.com). Retrieved from <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/linen-fabric-market.asp>.

UDC 620.2

Svetlana Yaheliuk, Valentyna Tkachuk, Oksana Rechun

## FORMATION OF THE MARKET IN UKRAINE CROPS

**Urgency of the research.** The growth of the share of ecological raw materials due to increased production and processing of technical crops in modern production in various fields is an urgent task. The market for such materials in Ukraine is just beginning to take shape. There are several reasons for its slow development: weak environmental consciousness of consumers, lack of state support, since such production is subsidized all over the world, etc. That is, Ukraine is a raw material resource, although it is capable of producing and using technical cultures, ranging from their medical needs to building materials and fuel.

**Target setting.** Research of the market of energy crops is relevant, because such a market is only beginning to develop in Ukraine.

**Actual scientific researches and issues analysis.** This problem is rather intensively raised in the writings of foreign scientists: H. Neoureddini (Neoureddini H., 1992), B. Teoh (Teoh B., 1992), L. Davis Clements (1992) and well-known domestic scholars such as V. Semenov, V. Gaidash, B. Kochirko, R. Tsurcan, V. Sin'ko, V. Marchenko, G. Burlaka, S. Boychenko, who investigated production technology, consumer properties of biodiesel fuel, operation of a diesel engine during its use. Many of the scientists are interested in the formation of the bioenergy resource market and its biofuel segment, namely I. Kirilenko, V. Demyanchuk, L. Gosyuk, N. Melnyk, G. Kaletnik and others. Questions related to the production of linseed in Ukraine were considered by L. Chursina, I. Karpets, and others. The problems of efficiency of the flax industry complex are devoted to the scientific works of T. Yesipchuk, I. Karpets, N. Krugloi, O. Lokti, S. Yagelyuk and others. The following Ukrainian scientists are engaged in the cultivation of energy willow and its use: Y. Fuchilo, V. Sinchenko.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Given the fact that this problem occupies a prominent place in the researches and works of the named scientists, there remain a lot of unresolved issues of scientific and practical content that require further research and decision. However, the tendencies of the development of the market of industrial crops in Ukraine, taking into account the situation on the world market, are not considered sufficiently.

**The research objective.** The purpose of the study is to analyze the current state of the domestic market of technical crops, for example, rape, flax (flax flax, oil flax), technical willow, taking into account the main world trends in growing and using these crops and suggesting ways to further its development.

**The statement of basic materials.** The market for technical crops such as flax, rape and energy willow has been analyzed. Established problems and peculiarities of its development. The directions of formation and dissemination of these cultures in Ukraine with subsequent use in consumer goods are explored.

**Conclusions.** Thus, today the most urgent ways of solving problems for the development of the market of technical crops in Ukraine are seen: increase of crops of flax, rape and growing of energy willow, development of technologies for their cultivation, technical modernization of agricultural enterprises, access to maximum capacity, development and introduction of normative base, harmonized with EU legislation. At the same time, it is necessary to conduct economic research and calculations on the future development of the industry. And in any case, it is necessary to strive for the result of changes and transformations to increase the economic efficiency of economic activity.

**Keywords:** industrial crops; flax; canola; technical willow; export; import.

Fig.: 3. References: 26.

УДК 620.2

Светлана Ягелюк, Валентина Ткачук, Оксана Речун

**ФОРМИРОВАНИЕ РЫНКА ТЕХНИЧЕСКИХ КУЛЬТУР В УКРАИНЕ**

**Актуальность темы исследования.** Рост части экологических сырьевых материалов за счет увеличения производства и переработки технических культур в современном производстве в разных отраслях является актуальной задачей. Рынок таких материалов в Украине лишь начинает формироваться. Есть несколько причин его медленного развития: слабое экологическое сознание потребителей, отсутствие поддержки государства, ведь во всем мире такие производства являются дотационными, и др. То есть Украина является сырьевым ресурсом, хотя способная сама производить и использовать технические культуры, начиная от своих потребностей в медицине, заканчивая строительными материалами и горючим.

**Постановка проблемы.** Исследование рынка энергетических культур является актуальным, ведь такой рынок лишь начинает развиваться в Украине.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Данная проблема достаточно интенсивно поднимается в трудах зарубежных ученых: Х. Нойреддини (Neoureddini H., 1992), Б. Теох (Teoh B., 1992 Л. Девис Клементс (Davis Clements L., 1992) и известных отечественных научных работников, таких как В. Семенов, В. Гайдаш, Бы. Кочирко, Г. Цуркан, В. Синько, В. Марченко, Г. Бурлак, С. Бойченко, которые исследовали технологию изготовления, потребительские свойства биодизельного топлива, работу дизельного двигателя, при его использовании. Проблемами формирования рынка биоэнергетических ресурсов и его сегмента – биотоплива – занимаются много научных работников, а именно: И. Кириленко, В. Дем'янчук, Л. Гойсюк, Н. Мельник, Г. Калетник и др. Вопросы связаны с производством льна в Украине рассматривались Л. Чурсиной, И. Карця и др. Проблемам эффективности ленопромышленного комплекса посвящены научные труды Т. Есипчук, И. Карця, Н. Крулой, О. Локтя, С. Ягелюк и др. Особенности выращивания энергетической ивы и ее использования занимаются такие украинские ученые: Я. Фучило, В. Синченко, М. Гументик.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Ввиду того, что отмеченная проблема занимает главное место в исследованиях и трудах названных ученых, остаются немало нерешенных вопросов научного-практического содержания, которые нуждаются в последующем исследовании и решении. Однако тенденции развития рынка технических культур в Украине с учетом ситуации на мировом рынке рассмотрены недостаточно.

**Постановка задания.** Целью исследования является анализ современного состояния отечественного рынка технических культур на примере рапса, льна (льна-долгунца, льна масляного), технической ивы, с учетом основных мировых тенденций выращивания и использования этих культур и предложение пути относительно его последующего развития.

**Изложение основного материала.** Проанализирован рынок технических культур, таких как, лен, рапс и энергетическая ива. Установленные проблемы и особенности его развития. Исследовано направления формирования и распространения данных культур в Украине с последующим использованием в товарах народного потребления.

**Выводы в соответствии со статьей.** Поэтому, на сегодня наиболее актуальными путями решения проблем для развития рынка технических культур в Украине видятся: увеличение посевов льна, рапса и выращивание энергетической ивы, развитие технологий, по их выращиванию, техническая модернизация агропредприятий, выход на максимальную мощность, разработка и внедрение нормативной базы, гармонизированной с законодательством ЕС. Одновременно нужно провести экономические исследования и расчеты относительно развития отрасли в будущем. И в любом случае необходимо хотеть того, чтобы результатом изменений и преобразований становилось повышение экономической эффективности хозяйственной деятельности.

**Ключевые слова:** технические культуры; лен; рапс; техническая ива; экспорт; импорт.

Табл.: 3. Рис.: 3. Библ.: 26.

**Ягелюк Світлана Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи в митній справі, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43000, Україна).

**Ягелюк Светлана Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы в таможенном деле, Луцкий национальный технический университет (ул. Львовская, 75, г. Луцк, 43000, Украина).

**Yaheliuk Svetlana** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Capture, Trade and Stock Activities, Lutsk National Technical University (75 Lvivska Str., 43018 Lutsk, Ukraine).

**E-mail:** cler2010@gmail.com

**Ткачук Валентина Віталіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства та експертизи в митній справі, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43000, Україна).

**Ткачук Валентина Витальевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы в таможенном деле, Луцкий национальный технический университет (ул. Львовская, 75, г. Луцк, 43000, Украина).

**Tkachuk Valentyna** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Capture, Trade and Stock Activities, Lutsk National Technical University (75 Lvivska Str., 43018 Lutsk, Ukraine).

**E-mail:** v.tkachuk@lntu.edu.ua

**Речун Оксана Юрїївна** – кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри товарознавства та експертизи в митній справі, Луцький національний технічний університет (вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43000, Україна).

**Речун Оксана Юрьевна** – кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры товароведения и экспертизы в таможенном деле, Луцкий национальный технический университет (ул. Львовская, 75, г. Луцк, 43000, Украина).

**Rechun Oksana** – PhD in Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Capture, Trade and Stock Activities, Lutsk National Technical University (75 Lvivska Str., 43018 Lutsk, Ukraine).

**E-mail:** Chuzkova@bigmir.net

**Scopus Author ID:** 56607427300

Василина Ковальова

## РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОГО КОРЕКТОРА ДЛЯ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ БОРОШНА НА БОРОШНОМЕЛЬНИХ ЗАВОДАХ

**Актуальність теми дослідження.** Розробка борошняної суміші для поліпшення хлібопекарських властивостей борошна з використанням ферментних препаратів – перспективний інноваційний напрям розвитку борошномельної промисловості.

**Постановка проблеми.** Використання ферментних препаратів на борошномельних заводах України дасть можливість максимально використати потенціал сировини, стабілізувати якість борошна й задовольнити потреби хлібопекарської та кондитерської промисловості.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** З метою покращення якості хліба у хлібопекарській промисловості використовують харчові добавки та поліпшувачі різного принципу дії. Розроблені рецептури їх внесення в технологічну лінію виробництва борошняних виробів.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** У літературі відсутня інформація щодо використання як поліпшувачів ферментних препаратів направленої дії безпосередньо на борошномельних заводах України для стабілізації якості готової продукції.

**Постановка завдання.** Метою роботи є поліпшення хлібопекарської якості пшеничного борошна шляхом внесення ферментних препаратів.

**Виклад основного матеріалу.** У статті наведено дослідження з коригування якості українського борошна вищого сорту з низькими хлібопекарськими властивостями, а саме: низькою амілолітичною активністю (ЧП – 460 с) і пружними властивостями клейковини, показник ІДК – 51 ум. од. У ролі коректорів були використані ферментні препарати німецького виробника Мюленхімі з амілазною й геміцелюлазною активністю (Alphamalt A 6003) і сірковмісна амінокислота цистеїн (Porit-L). За результатами пробного лабораторного випікання встановлено вплив кожного коректора як окремо, так і в комплексі.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що використання комплексу ферменту Alphamalt A 6003 і амінокислоти Porit-L сприяє покращенню органолептичних і фізичних показників хліба: збільшення питомого об'єму в 2,1 раз, пористості з 71 до 84 %. У статті вперше наведено рецептуру комплексу ферментів для коригування якості українського борошна з низькою ферментативною активністю. Результати досліджень можуть бути використані борошномельними виробництвами для стабілізації якості кінцевої продукції.

**Ключові слова:** пшеничне борошно; ферментні препарати; клейковина; Alphamalt A6003; Porit-L;  $\alpha$ -амілаза; геміцелюлаза.

Рис.: 4. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Підвищення якості продуктів харчування в наш час є однією з основних задач. Шляхи її вирішення різноманітні й пов'язані насамперед із ресурсозбереженням, удосконаленням асортименту продукції, поліпшенням рецептур і технологій, використанням нетрадиційної сировини, наданням їжі профілактичної спрямованості й багатьох захисних властивостей [1]. Особливо важливим це є у процесі виробництва товарів масового споживання, до яких відноситься передусім хліб [2].

**Постановка проблеми.** Одним з основних завдань борошномельної промисловості є випуск продукції з хорошими споживчими властивостями. Однак відмінності в типах і сортах пшениці, погодно-кліматичних і агротехнічних умовах вирощування та збору врожаю, режимах зберігання й технологічних схемах переробки зерна зумовлюють різну його якість [3]. Поліпшення, коригування властивостей борошна необхідні для забезпечення його стандартної якості і для виробництва широкого асортименту хлібобулочних та кондитерських виробів [4].

Разом з цим пріоритетними завданнями хлібопечення є також стабілізація властивостей основної сировини, вдосконалення асортименту виробів покращеної якості, поліпшення смаку й аромату хліба при використанні прискорених технологій, а також розробка способів продовження терміну зберігання свіжості готової продукції. Реалізація зазначених завдань ґрунтується на цілеспрямованому застосуванні харчових добавок і поліпшувачів [5].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У сучасному хлібопеченні застосовуються харчові добавки, використання яких є необхідним через багато причин, а саме:

- вдосконалення технології виробництва;
- розширення асортименту хлібобулочних виробів з більш тривалим терміном збереження свіжості та ін.;

- нестабільності якості борошна;
- різноманітності видів і властивостей сировини [6].

Переважно більшість добавок і поліпшувачів не мають харчового значення, але одні з них зовсім нешкідливі, а інші навпаки – навіть можуть загрожувати здоров'ю людини. Всі добавки регламентуються медико-біологічними вимогами й санітарними нормами якості продовольчої сировини і харчових продуктів [3; 7].

У хлібопеченні застосовуються: поліпшувачі окисної дії, поліпшувачі відновної дії, поверхнево-активні речовини, ферментні препарати, модифіковані крохмалі; мінеральні солі, консерванти, суха пшенична клейковина, сухі закваски (підкислювачі), ароматичні та смакові добавки [8].

Отримати хліб необхідної якості можна лише тоді, коли в процесі тістоведення оптимально поєднуються швидкості мікробіологічних процесів і біохімічних перетворень. Під дією ферментів протікає гідроліз білків і вуглеводів, що деякою мірою сприяє інтенсифікації цих перетворень і позитивно позначається на якості хліба [6; 9]. У хлібопеченні застосування таких ферментів, як  $\alpha$ -амілаза і геміцеллюлаза сприяє зниженню витрат борошна, поліпшенню якості тіста, уповільненню черствіння, а також розширенню виробництва охолодженого й замороженого тіста [10]. Ці ферменти беруть участь у розщепленні крохмалю до простих цукрів, що необхідно для кращого харчування дріжджів, підвищення водопоглинальної і газоутворюючої здатності тіста, забезпечення стабільності тістових заготовок, запобігання затягуванню тіста. Ферменти також сприяють утворенню більшого питомого об'єму хліба, отримання тонкої скоринки, підвищенню еластичності м'якушки й поліпшенню його структури [11].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз публікацій показав, що активно досліджується питання використання ферментних препаратів для покращення якості борошняних виробів. У результаті проведеного аналізу також виявлено, що відсутня інформація відносно використання ферментів безпосередньо на борошномельних заводах України. В європейських країнах давно існує досвід внесення таких коректорів у борошно, однак для українських виробників таке рішення не є достатньо поширеними у зв'язку з відсутністю науково обґрунтованої бази.

**Мета статті.** Метою дослідження є розробка комплексного поліпшувача хлібопекарської якості пшеничного борошна українських виробників з низькою амілолітичною активністю і пружними властивостями клейковинного каркаса.

Як об'єкт досліджували:

- пшеничне борошно вищого сорту українського виробництва (ГСТУ 46.004-99);
- ферментний препарат фірми Мюленхімі  $\alpha$ -амілаза з геміцелюлазною активністю Alphamalt A 6003;
- сірковмісна амінокислота цистеїн фірми Мюленхімі Porit-L.

**Виклад основного матеріалу.** Згідно з вимогами ГСТУ 46.004-99 «Борошно пшеничне. Технічні умови» борошно вищого сорту повинне відповідати таким показникам: вологість – не більше 15 %, кількість клейковини – не менше 24 %, якість клейковини – не нижче II групи, зольність – не більше 0,55 %, білість – не менше 54 ум. од., число падіння – не менше 160 с.

Всі показники якості визначалися згідно з методиками діючих в Україні стандартів: ГОСТ 9404-88 «Борошно і висівки. Метод визначення вологості»; ГОСТ 27839-88 «Борошно пшеничне. Метод визначення кількості і якості клейковини»; ГОСТ 27494-87 «Борошно і висівки. Метод визначення зольності»; ГОСТ 26361-84 «Борошно. Метод визначення білості»; ГОСТ 27676-88 «Зерно і продукти його переробки. Метод визначення числа падіння».

Для комплексної оцінки хлібопекарських властивостей борошна проводили пробну лабораторну випічку формового хліба згідно з методикою ГОСТ 27669-88 у перерахунку на 100 г борошна. З огляду на вологість борошна визначалась кількість необхідної

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

води для замісу тіста. У рецептурі також вказано кількість дріжджів (3 г), цукру (4 г) та солі (1,3 г). Замішування і формування тіста проводилось вручну. У процесі бродіння в термостаті при температурі  $(31 \pm 1)^\circ\text{C}$  тісту дають три обминання через 90, 150 і 180 хв від початку бродіння. Після закінчення бродіння тістові заготовки кладуть у форми, попередньо змащені олією. Остаточне вистоювання сформованих заготовок проводиться при температурі  $32 \dots 35^\circ\text{C}$  та відносній вологості повітря  $70 \dots 85\%$ . Кінець вистоювання визначають за станом та видом тістових заготовок, не допускаючи їх опадання. Хліб випікають у лабораторних печах при температурі  $220 \dots 230^\circ\text{C}$  з обов'язковим зволоженням пекарної камери. Тривалість випікання хліба складає  $20 \dots 25^\circ\text{C}$ .

Основними показниками якості хліба є: органолептична оцінка (зовнішній вигляд хліба, поверхня кірки і її колір, стан м'якушки, характер пір), обсяг, пористість, питомий об'єм.

Оцінка якості борошна показала такі результати: вологість –  $14,9\%$ ; кількість клейковини –  $25,4\%$ ; якість клейковини – 51 ум. од.; білість – 56 ум. од.; зольність –  $0,54\%$ ; ЧП – 460 с. Таке борошно характеризується низькими хлібопекарськими властивостями через міцну клейковину (ІДК 51 ум. од.) і низьку амілолітичну активність (ЧП 460 с). Пробна випічка показала, що контрольний зразок має рівномірну золотисту скоринку, але невисокий об'єм ( $300\text{ см}^3$ ), невелику пористість (71 %) і середню еластичність м'якушки, що пояснюється низькою ферментативною активністю вихідного зразка борошна. Для поліпшення якості такого борошна було прийнято рішення використовувати ферментний препарат Alphamalt A 6003 і амінокислоту Rogit-L.

Згідно з рекомендаціями виробника дозування ферментного препарату Alphamalt A 6003 становить  $0,08 \text{--} 0,15\text{ г/кг}$ . Такий широкий діапазон вказує на те, що використання різної кількості ферменту залежить від якості борошна і бажаних змін у ньому. У роботі були досліджені контрольний зразок – борошно без ферментних препаратів (проба 1) і 3 варіанти дозування: проба 2 –  $0,08\text{ г/кг}$  (мінімальне дозування); проба 3 –  $0,12\text{ г/кг}$  (середнє дозування); проба 4 –  $0,15\text{ г/кг}$  (максимальне дозування).

При внесенні в борошно мінімального дозування Alphamalt A 6003 покращився зовнішній вигляд і збільшився питомий об'єм хліба з  $1,9$  до  $3,2\text{ см}^3/\text{г}$  (рис. 1). Це свідчить про те, що навіть у такій невеликій кількості ферментний препарат збільшив амілолітичну активність борошна і покращив якість хліба. Найкращий результат мав хліб з внесенням середнього дозування: так, питомий об'єм збільшився в 1,7 раза, покращилась пористість з 71 до  $80\%$  при цьому вона стала рівномірною з тонкими стінками пор. Максимальне дозування не привело до подальшого зростання якості хліба, а навпаки, результати схожі з мінімальними, тому раціональним для цього зразка борошна є середнє дозування –  $0,12\text{ г/кг}$ .

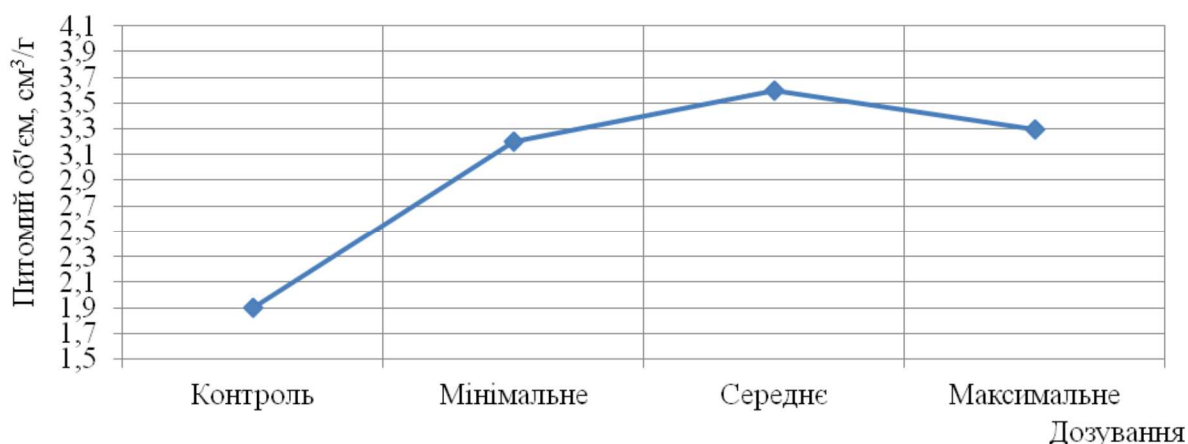


Рис. 1. Питомий об'єм хліба при різних дозуваннях ферментного препарату Alphamalt A 6003



Porit-L вводився в борошно в таких дозуваннях: мінімальне – 0,05 г/кг; середнє – 0,1 г/кг; максимальне – 0,2 г/кг. Амінокислота цистеїн не чинила суттєвого впливу на якість хліба, при максимальному дозуванні питомий об'єм хліба показав найкращий результат і збільшився з 1,9 до 2,2 см<sup>3</sup>/г (рис. 2), але такі зміни не набагато кращі за мінімальне і середнє дозування, що мають однакові результати: так, при мінімальному і середньому дозуваннях питомий об'єм збільшився в 1,1 раза, а при максимальному в 1,2. Такі зміни якості пов'язані з невисоким вмістом клейковини (білка) і низькою газотримуючою здатністю досліджуваного зразка борошна, яка при розслабленні клейковини зменшується.



Рис. 2. Питомий об'єм хліба при різних дозуваннях ферментного препарату Porit-L

На підставі отриманих даних було прийнято рішення про застосування комплексу  $\alpha$ -амілази з геміцелюлазою активністю і цистеїну для визначення комплексного впливу на якість хліба.

Для поліпшення якості хліба були складені комплекси з Alphamalt A 6003 і Porit-L в мінімальних, середніх і максимальних дозуваннях. При проведенні пробної лабораторної випічки хліба зовнішній вигляд з додаванням коректорів покращився, поверхня хліба стала більш рівномірною з золотавою скоринкою, покращився також характер пор, смак і аромат виробів (рис. 3).

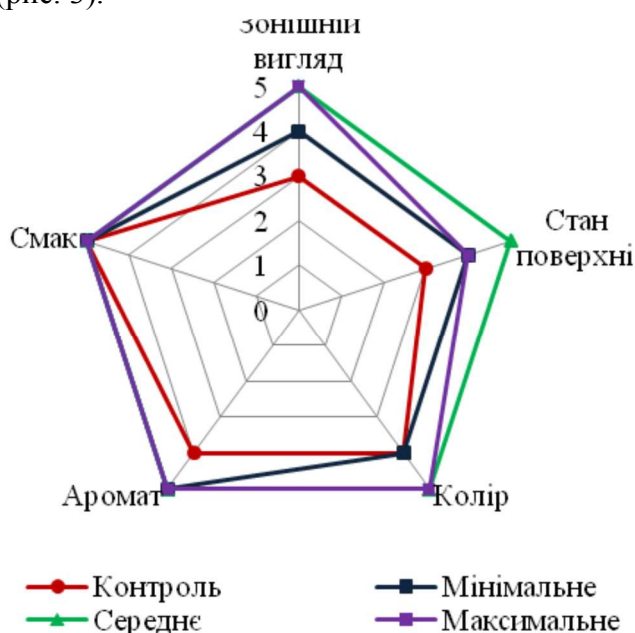


Рис. 3. Бальна оцінка якості хліба з додаванням комплексу ферментів

Аналіз якості хліба показав, що вже при мінімальному дозуванні спостерігаються значне збільшення питомого об'єму хліба з 1,9 до 3,6 см<sup>3</sup>/г. При середньому дозуванні питомий об'єм збільшився до 3,9 см<sup>3</sup>/г, максимальне дозування призводить до зменшення питомого об'єму і збільшення пористості з нерівномірно розподіленими порами. Найкращі результати якості хліба показав комплекс покращувачів у середніх дозуваннях (рис. 4).



Рис. 4. Питомий об'єм хліба при різних дозуваннях комплексу з *Alphamalt A 6003* і *Porit-L*

Ферментні препарати різного принципу дії дозволяють регулювати спиртове бродіння в тісті, покращувати газоутворюючу й газотримуючу здатність, інтенсифікувати технологічний процес виробництва хліба.

*Alphamalt A 6003* компенсує недолік  $\alpha$ -амілази в борошні, збільшує накопичення декстринів, збільшує газоутворюючу і цукроутворюючу здатність борошна, інтенсифікує технологічний процес. Завдяки геміцелюлазної активності він діє на нерозчинні високомолекулярні пентозани, збільшує частку низькомолекулярних пентозанів, що сприяє утворенню більш міцного каркаса клейковини, сприяє збільшенню частки зв'язаної вологи в тісті, що викликає покращення структурно-механічних властивостей тіста. Саме для досліджуваного зразка борошна, отриманого за скороченою схемою технологічного процесу, характерна наявність високої кількості пентозанів, які погіршують якість хліба, тому використання *Alphamalt A 6003* є доцільним рішенням.

*Porit-L*, тобто цистеїн, позитивно впливає на міцну клейковину, розслаблює її, прискорюючи дозрівання тіста. Ослаблення клейковини, збільшення її розтяжності при внесенні цистеїну пояснюється зміною співвідношення сульфгідрильних груп і -SS-зв'язків в білках клейковини.

#### Висновки відповідно до статті.

1. Норми введення ферментного препарату *Alphamalt A 6003* для українського борошна зі зниженою ферментативною активністю становлять: мінімальне – 0,08 г/кг, середнє – 0,12 г/кг, що покращує якість і об'єм хліба.

2. Обґрунтована рецептура комплексу поліпшувачів для стабілізації якості українського борошна: мінімальне дозування – *Alphamalt A 6003* – 0,08 г/кг, *Porit-L* – 0,05 г/кг; середнє дозування – *Alphamalt A 6003* – 0,12 г/кг; *Porit-L* – 0,05 г/кг – 0,1 г/кг.

3. Ці комплекси рекомендовані для використання на борошномельних заводах, особливо зі скороченою схемою технологічного процесу, що призводить до покращення якості готової продукції та підвищення її конкурентоспроможності.

**Список використаних джерел**

1. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства : учебник / Л. Я. Ауэрман ; под общ. ред. Л. И. Пучковой. – 9-е изд., перераб. и доп. – СПб. : Профессия, 2005. – 416 с.
2. Матвеева И. В. Пищевые добавки и хлебопекарные улучшители в качестве мучных изделий / И. В. Матвеева, И. Г. Белявская. – М. : МГУПП, 2001. – 115 с.
3. Дробот В. І. Харчові добавки та їх функціональна роль у технологічному процесі / В. І. Дробот // Хранение и переработка зерна. – 2003. – № 9. – С. 25–27.
4. Косован А. П. Применение хлебопекарных улучшителей для регулирования качества муки / А. П. Косован, Г. Ф. Дремучева // Пищевая промышленность. – 2003. – № 12. – С. 44–45.
5. Матвеева И. В. Концепция и технологические решения применения хлебопекарных улучшителей / И. В. Матвеева // Пищевая промышленность. – 2005. – № 5. – С. 20–23.
6. Чижикова О. Г. Эффективное средство повышения качества хлеба – хлебопекарные улучшители / О. Г. Чижикова, Л. О. Коршенко // Вестник Дальневосточной государственной академии экономики и управления. – 1998. – № 1/5. – С. 91–97.
7. 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.
8. Матвеева И. В. Корректировка качества муки на основе ферментных препаратов / И. В. Матвеева // Хлебопродукты. – 2007. – № 3. – С. 55–57.
9. 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.
10. Мелешкина Е. А. Применение пищевых добавок на мельницах / Е. А. Мелешкина // Хлебопродукты. – 2005. – № 11. – С. 40–42.
11. Кондратьев И. А. Применение ферментных препаратов на мукомольных заводах / И. А. Кондратьев, А. И. Кондратьев // Зерновое хозяйство. – 2002. – № 5. – С. 25–26.
12. Hamer R. J. Enzymes in the baking industry // Enzymes in Food Processing / G. A. Tucker, L. F. J. Woods (Eds.). – Glasgow: Blackie, 1991. – Pp. 168–193.

**References**

1. Auerman, L. (2005). *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva: uchebnik [Technology of bakery production]*. Petersburg: Professia [in Russian].
2. Matveeva, I. V. & Beliavskaia, I. G. (2001). *Pishchevye dobavki i khlebopekarnye uluchshiteli v kachestve mучnykh izdelii [Food additives and bakery improvers as flour products]*. Moscow: MGUPP [in Russian].
3. 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*, 9, 25–27 [in Ukrainian].
4. Kosovan, A. P. & Dremucheva, G. F. (2003). Primenenie khlebopekarnykh uluchshitelei dlia regulirovaniia kachestva muki [Application of bakery improvers for flour quality control]. *Pishchevaia promyshlennost – Food industry*, 12, 44–45 [in Russian].
5. Matveeva, I. V. (2005). Kontseptsiia i tekhnologicheskie resheniia primeneniia khlebopekarnykh uluchshitelei [The concept and technological solutions for the use of bakery improvers]. *Pishchevaia promyshlennost – Food industry*, 5, 20–23 [in Russian].
6. Chizhikova, O. G., Korshenko, L. O. (1998). Effektivnoe sredstvo povysheniia kachestva khleba – khlebopekarnye uluchshiteli [An effective means of improving the quality of bread – bakery improvers]. *Vestnik Dalnevostochnoi gosudarstvennoi akademii ekonomiki i upravleniia – Bulletin of the Far Eastern State Academy of Economics and Management*, 1 (5), 91–97 [in Russian].
7. 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. Vasylenka – Herald of KhNTUSG them. P. Vasilenko*, 58, 250–254 [in Ukrainian].
8. Matveeva, I. V. (2007) Korrektirovka kachestva muki na osnove fermentnykh preparatov [Correction of quality of flour based on enzyme preparations]. *Khleboprodukty – Bread products*, 3, 55–57 [in Russian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. 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*, 5, 8–10 [in Ukrainian].

10. Meleshkina, E. A. (2005). Primenenie pishchevykh dobavok na melnitcakh [Application of food additives in mills]. *Khleboprodukty – Bread products*, 11, 40–42 [in Russian].

11. Kondratev, I. A. (2002). Primenenie fermentnykh preparatov na mukomolnykh zavodakh [The use of enzyme preparations in flour mills]. *Zernovoe khoziaistvo – Grain economy*, 5, 25–26 [in Russian].

12. Hamer, R. J., Tucker, G. A. (1991). *Enzymes in the baking industry. Enzymes in Food Processing*. L. F. J. Woods (Eds.). Glasgow: Blackie [in English].

UDC 664.71-11:664.64.016

Vasylyna Kovalova

## DEVELOPMENT OF THE COMPLEX CORRECTOR FOR THE STABILIZATION OF THE QUALITY OF FLOUR AT THE MILLING PLANTS

**Urgency of the research.** The development of the flour mixture for improving the baking properties of the flour with the application of enzyme preparations - promising innovative direction of the milling industry.

**Target setting.** The use of enzyme preparations in the Ukrainian flour mills will make it possible to use the potential of raw materials as much as possible to stabilize the quality of the flour and meet the needs of bakery and confectionery industry.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In the baking industry to improve the quality of bread used food additives and enhancers for various operating principle. Developed recipes for their introduction into the technological line of flour production.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There is no information in the literature on the use of direct-acting enzyme preparations directly at the Ukrainian flour mills as improver for stabilizing the quality of finished products.

**The research objective.** Improving the baking quality of wheat flour by introducing enzyme preparations.

**The statement of basic material.** The article presents studies on the quality adjustment of high quality Ukrainian flour with low baking properties, namely: low amylolytic activity (FN - 460 s) and elastic properties of gluten, IDG index – 51 units. As correctors, enzyme preparations of the German manufacturer Mühlenhimi with amylase and hemicellulase activity (Alphamalt A 6003) and sulfur-containing amino acid cysteine (Porit-L) were used. According to the results of the laboratory baking test, the influence of each corrector is determined separately and in a complex.

**Conclusions.** It is established that the complex of enzymes Alphamalt A 6003 and Porit-L leads to improvement of organoleptic and physical parameters of bread: increase in specific volume in 2.1 times, porosity from 71 % to 84 %. For the first time, the article presents the recipes of a complex of enzymes for the correction of the quality of Ukrainian flour with low enzymatic activity. The research results can be used in the milling production to stabilize the quality of the finished product.

**Keywords:** wheat flour; enzyme preparations; gluten; Alphamalt A 6003; Porit-L;  $\alpha$ -amylase; hemicellulases.

Fig.: 4. References: 12.

УДК 664.71-11:664.64.016

Василиса Ковалева

## РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОГО КОРРЕКТОРА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ КАЧЕСТВА МУКИ НА МУКОМОЛЬНЫХ ЗАВОДАХ

**Актуальность темы исследования.** Разработка мучной смеси для улучшения хлебопекарных свойств муки с использованием ферментных препаратов – перспективное инновационное направление развития мукомольной промышленности.

**Постановка проблемы.** Использование ферментных препаратов на мукомольных заводах Украины даст возможность максимально использовать потенциал сырья, стабилизировать качество муки и удовлетворить потребности хлебопекарной и кондитерской промышленности.

**Анализ последних источников и публикаций.** С целью улучшения качества хлеба в хлебопекарной промышленности используют пищевые добавки и улучшители различного принципа действия. Разработаны рецептуры их внесения в технологическую линию производства мучных изделий.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** В литературе отсутствует информация о использовании в качестве улучшителей ферментных препаратов направленного действия непосредственно на мукомольных заводах Украины для стабилизации качества готовой продукции.

**Целью работы** является улучшение хлебопекарного качества пшеничной муки путем внесения ферментных препаратов.

**Изложение основного материала.** В статье приведены исследования по корректировке качества украинской муки высшего сорта с низкими хлебопекарными свойствами, а именно: низкой амилитической активностью (ЧП – 460 с) и упругими свойствами клейковины, показатель ИДК – 51 ус. ед. В качестве корректоров были использованы ферментные препараты немецкого производителя Мюленхими с амилазной и гемицеллюлазной активностью (Alphamalt A 6003) и серосодержащая аминокислота цистеин (Porit-L). По результатам пробной лабораторной выпечки установлено влияние каждого корректора как отдельно, так и в комплексе.

**Выводы в соответствии со статьей.** Установлено, что комплекс ферментов *Alphamalt A 6003* и *Porit-L* приводит к улучшению органолептических и физических показателей хлеба: увеличение удельного объема в 2,1 раза, пористости с 71 до 84 %. В статье впервые приведены рецептуры комплекса ферментов для корректировки качества украинской муки с низкой ферментативной активностью. Результаты исследований могут быть использованы в мукомольном производстве для стабилизации качества конечной продукции.

**Ключевые слова:** пшеничная мука; ферментные препараты; клейковина; *Alphamalt A 6003*; *Porit-L*;  $\alpha$ -амилаза; гемицеллюлазы.

Рис.: 4. Библ.: 12.

**Ковальова Василина Петрівна** – аспірант, завідувач лабораторії «Оцінки хлібопекарської якості зерна та борошна», асистент кафедри технології переробки зерна, Одеська національна академія харчових технологій (вул. Канатна, 112, м. Одеса, 65039, Україна).

**Ковалева Василиса Петровна** – аспірант, заведуюча лабораторією «Оценки хлебопекарного качества зерна и муки», асистент кафедри технології переробки зерна, Одеська національна академія харчових технологій (ул. Канатная, 112, г. Одесса, 65039, Украина).

**Kovalova Vasylyna** – PhD student, Head of the Laboratory «Bread quality grades of grain and flour», Assistant Professor of Technology of Grain Processing, Odessa National Academy of Food Technologies (112 Kanatna Str., 65039 Odessa, Ukraine).

**E-mail:** k.vasilisa@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2270-1337>

**ResearcherID:** D-7510-2016

## РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 504.5:628.33

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-214-223

Микола Гомеля, Ганна Трохименко, Олена Глушко

### ВПЛИВ ІОНІВ ЖОРСТКОСТІ НА СОРБЦІЮ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА КАТІОНІТІ

**Актуальність теми дослідження.** Актуальним питанням є очищення стічних вод гальванічних виробництв, що містять іони важких металів. Кумулятивний ефект, канцерогенна дія останніх на живі організми зумовлює активний пошук шляхів вилучення катіонів важких металів зі стічних вод. Викликає інтерес метод іонного обміну.

**Постановка проблеми.** Стічні води гальванічних виробництв містять суміші катіонів важких металів. Доцільно було дослідити вплив іонів жорсткості на селективність іоніту та перспективи розділення важких металів у процесі сорбції на сильнокислотному іоніті.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Досліджено процеси сорбції іонів цинку, кадмію, нікелю та міді на катіоніті КУ-2-8. Селективність катіоніту по іонах важких металів при низьких їх концентраціях менша селективності по іонах жорсткості. При іонообмінному пом'якшенні води можливе вилучення іонів міді на слабкокислотному катіоніті.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Оцінка впливу іонів жорсткості на сорбцію іонів важких металів при вилученні їх зі стічних вод гальванічних виробництв при використанні для промивки деталей водопровідної води.

**Постановкою завдання** було вивчення впливу іонів жорсткості та взаємного впливу іонів важких металів на їх сорбцію на сильнокислотному катіоніті.

**Виклад основного матеріалу.** Катіоніт КУ-2-8 ефективно вилучає іони важких металів з розчинів, що містять їх суміші. Показано, що різниця в селективності катіоніту по іонах важких металів недостатня для ефективного їх розділення у процесі сорбції.

Встановлено, що іоніт сорбує іони міді з води навіть за низьких концентрацій при жорсткості 4,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Суміші важких металів при кислотній регенерації вимиваються з катіоніту КУ-2-8 не гірше, ніж з іоніту з сорбованим одним видом іонів важких металів.

**Висновки відповідно до статті.** В умовах концентрування важких металів на катіонітах досягнути ефективного розділення даних катіонів неможливо.

При застосуванні іонообмінного вилучення катіонів важких металів з гальваностоків необхідно застосовувати знесолу або Na-катіоновану воду.

Встановлено, що іони важких металів сорбовані індивідуально і в сумішах з іншими іонами важких металів ефективно десорбуються сірчаною кислотою незалежно від співвідношення в сорбційному об'ємі.

**Ключові слова:** важкі метали; іонний обмін; сорбція; регенерація іоніту; іони жорсткості.

Рис.: 7. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Проблема забезпечення водою є однією з головних у світі та в Україні зокрема. Це пов'язано як із кількістю води, так і з її якістю в природних водоймах. Скидання стічних вод промислових підприємств, об'єктів теплоенергетики, шахтних вод призводить до забруднення природних вод [1]. Необхідність очищення стічних вод гальванічних виробництв, що містять іони важких металів, не викликає сумнівів. Важкі метали відносяться до найбільш токсичних забруднювачів, які здатні до накопичення в живих організмах. При міграції по трофічних ланцюгах їх концентрація збільшується у 2-3 рази при переході на наступний рівень трофічного ланцюга [2]. Якщо в решті-решт важкі метали потрапляють в організм людини і перевищують межі допустимої концентрації, то вони можуть викликати серйозні розлади здоров'я. Тому питання очищення промислових стоків від іонів важких металів є достатньо актуальним. Радикально вирішити його можна через впровадження замкнутих циркуляційних систем водокористування на промислових підприємствах. Актуальним лишається створення прямоочних систем з вилученням важких металів з води перед скидом у каналізацію, адже при використанні замкнутого циклу необхідно пом'якшувати воду. В обох випадках перспективним напрямком є застосування іонного обміну. Проте недостатня ефективність та недосконалість процесів регенерації іонообмінних матеріалів, складність переробки отриманих фільтратів стали головною перешкодою поширенню іонного обміну в практиці очищення стічних вод від іонів важких металів.

**Постановка проблеми.** Серед відомих методів утилізації регенераційних розчинів іонообмінного вилучення важких металів з промивних вод гальванічних виробництв, таких як нейтралізація і висадження гідроксидів металів, випаровування розчинів, електродіаліз та електроліз, останні є найбільш перспективними, оскільки дають можливість видаляти метали і дозволяють повторно використовувати регенераційні розчини. Проте, здебільшого, у стічних водах гальванічних виробництв зустрічаються суміші катіонів важких металів. Тому при вилученні даних іонів з гальваностоків іонообмінним методом та наступній електрохімічній переробці регенераційних розчинів отримують суміші металів. З іншого боку, відомо, що іоніт КУ-2-8 має меншу селективність по іонах  $\text{Cd}^{2+}$ , ніж по іонах  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$  і водночас має значну селективність по іонах жорсткості, зокрема по  $\text{Ca}^{2+}$ . Тому важливо було вивчити ці процеси й оцінити перспективи розділення важких металів на іоніті в процесі сорбції. Крім того, визначити умови застосування прямооточних систем з вилученням важких металів з води перед скидом у каналізацію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомо, що сильноокислотний катіоніт КУ-2-8 характеризується високою ємністю за катіонами, включаючи і катіони важких металів. Цей катіоніт має високу ємність при використанні як у сольовій, так і в кислій формі. Це дозволяє використовувати вказаний катіоніт для вилучення важких металів у слаболужному, нейтральному та кислому середовищах [3]. За рівної селективності іонітів за різними іонами головним чинником, що впливає на іонообмінне вилучення важких металів з води, є рівень їх концентрацій та вміст іонів жорсткості у воді. За низьких концентрацій іонів важких металів вилучення їх із води з високим рівнем жорсткості буде неефективним [4]. Це ж стосується й іонів міді [5]. Проте при іонообмінному пом'якшенні води цілком можливе і вилучення іонів міді з води на слабоокислотному катіоніті DOWEX-МАС-3 [6; 7], хоча ємності іоніту за міддю будуть далекими від максимальних. Головним недоліком DOWEX-МАС-3 є те, що при використанні його при пом'якшенні води в кислій формі відбувається її підкислення. З одного боку, це забезпечує її повну декарбонізацію та високу стабільність щодо карбонатних відкладень. З іншого – підкислена вода є корозійноактивною і не придатною для використання в більшості технологічних процесів. А використання катіоніту в сольовій ( $\text{Na}^+$ ) формі ускладнюється тим, що його переведення в  $\text{Na}^+$  форму при регенерації можливе лише при послідовній обробці розчином кислоти та лугу [8], що не є технологічним.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Оцінка впливу іонів жорсткості на сорбцію іонів важких металів при вилученні їх зі стічних вод гальванічних виробництв при використанні для промивки деталей водопровідної води та розділення важких металів в умовах концентрування їх на іонітах.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є визначення ефективності сумісної сорбції іонів кадмію, цинку, міді та нікелю на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8, а саме можливості їх розділення в процесі сорбції та визначення ефективності десорбції різних катіонів важких металів та їх сумішей при обробці кислотою. Крім того, доцільним є вивчення впливу іонів жорсткості на процес сорбції іонів важких металів на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

- для оцінки можливостей іонообмінного розділення катіонів важких металів визначити їх взаємний вплив на сорбцію на сильноокислотному катіоніті КУ-2-8 при вилученні з водних розчинів-аналогів промивних вод гальванічних виробництв;
- на прикладі сорбції іонів міді з водопровідної води визначити вплив іонів жорсткості на селективність іоніту щодо іонів важких металів;
- визначити ефективність десорбції катіонів важких металів з іонітів при обробці розчинами сірчаної кислоти залежно від типу сорбованих катіонів та їх співвідношення в сорбційному об'ємі.

**Виклад основного матеріалу.** Як іонообмінний матеріал використовували сильно-кислотний катіоніт КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ -формі. Як модельні розчини використовувалися розчини сульфатів іонів важких металів у різних комбінаціях. Концентрації іонів міді в суміші підтримували на рівні 31...35 мг-екв/дм<sup>3</sup>, кадмію – 16...20 мг-екв/дм<sup>3</sup>, цинку – 14...35 мг-екв/дм<sup>3</sup>, нікелю – 22...42 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Сорбцію проводили в динамічних умовах. Об'єм іоніту 10...20 см<sup>3</sup>. Колонка діаметром 2 см. Витрата розчину при сорбції 10...15 см<sup>3</sup>/хв, при регенерації 1...3 см<sup>3</sup>/хв. Регенерацію проводили 5 % розчином сірчаної кислоти. У пробах очищеної води або регенераційного розчину за відомими методиками контролювали концентрацію міді, кадмію, цинку та нікелю, жорсткість та лужність води, рН середовища [9].

У літературі вже давно описано, що сильнокислотний катіоніт КУ-2-8 характеризується високою ємністю за катіонами, включаючи і катіони важких металів [10; 11]. Цей катіоніт має високу ємність при використанні як у сольовій, так і в кислій формі. Це дозволяє використовувати вказаний катіоніт для вилучення важких металів у слаболужному, нейтральному та кислому середовищах. Ефективно вилучає цей катіоніт із води іони важких металів із розчинів, що містять суміші металів (рис. 1, 2). Як показали дослідження, ємність катіоніту по сумі катіонів кадмію та цинку, кадмію та нікелю, цинку та нікелю, кадмію та міді сягає ~2000 мг-екв/дм<sup>3</sup>. При контролі концентрації окремо іонів міді та іонів інших металів було показано (рис. 2), що катіоніт КУ-2-8 має близьку ефективність за іонами міді, нікелю та цинку. Однак за іонами кадмію іоніт має меншу селективність у порівнянні з іонами міді. Як видно з рис. 2 (крива 4), на першому етапі сорбції іони кадмію та міді поглиналися майже повністю. Це зумовлено тим, що ємність іоніту на цьому етапі була не заповнена повністю. Проте в подальшому, при пропусканні 800...1000 см<sup>3</sup> розчину мідь продовжувала сорбуватися, тоді як іони кадмію витіснялися з іоніту.

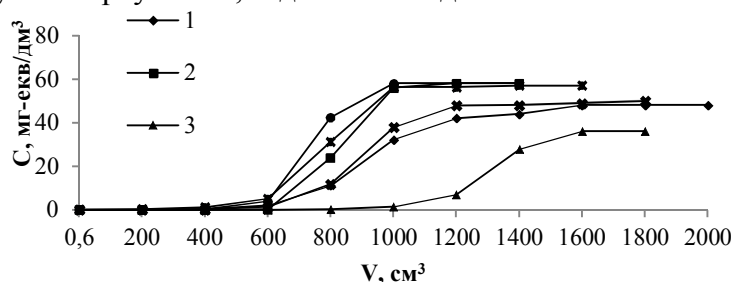


Рис. 1. Залежність вихідних концентрації кадмію та цинку (1), кадмію та нікелю (2), цинку та нікелю (3), кадмію та міді (4), міді та цинку (5), міді та нікелю (6) від пропущеного об'єму розчинів, що містять іони в концентраціях мг-екв/дм<sup>3</sup>:  $\text{Cd}^{2+}$ -18,0,  $\text{Zn}^{2+}$ -30,0(1);  $\text{Cd}^{2+}$ -16,0,  $\text{Ni}^{2+}$ - 42,0 (2);  $\text{Zn}^{2+}$  - 14,0;  $\text{Ni}^{2+}$ -22,0 (3);  $\text{Cu}^{2+}$ -32,  $\text{Cd}^{2+}$ -18,0 (4);  $\text{Zn}^{2+}$ -14,  $\text{Cu}^{2+}$ -33 (5);  $\text{Cu}^{2+}$ -32,  $\text{Zn}^{2+}$ -35 (6) (ПОДС, мг-екв-дм<sup>3</sup>: 1-2041; 2-1997; 3-2153; 4-2037; 5-2099; 6-2286) при фільтруванні через катіоніт КУ-2-8 в  $\text{Na}^+$ - формі ( $V_i = 20\text{см}^3$ )

Це призвело до підвищення концентрації на вихідній кривій сорбції кадмію (крива 4) до 31...35 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Очевидно, що можливо лише за рахунок десорбції раніше сорбованих іонів кадмію, що витіснялись з іоніту іонами міді.



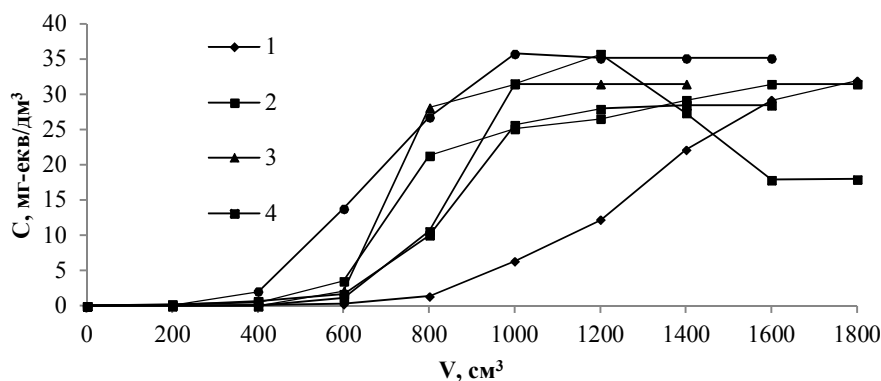


Рис. 2. Залежність вихідних концентрацій міді (1;2;3), кадмію (4), цинку (5) та нікелю (6) від пропущеного об'єму розчинів, що містять суміші іонів міді та кадмію (1;4), міді та цинку (2;5), міді та нікелю (3;6) в концентраціях, мг/дм<sup>3</sup>:  $Cu^{2+}$ -1016,  $Cd^{2+}$ -1012 (1;4);  $Cu^{2+}$ -1000,  $Zn^{2+}$  – 933(2;5);  $Cu^{2+}$ -1000,  $Ni^{2+}$ -1033 (3; 6), через катіоніт КУ-2-8 в  $Na^+$ - формі ( $V_i=20\text{cm}^3$ ). (ПОДС, мг-екв/дм<sup>3</sup>: 1-1841; 2-1147; 3-955; 4-197; 5-952; 6-1332)

У подальшому, коли основна маса сорбованих іонів кадмію була витіснена, їх концентрація у вихідному розчині знизилась до початкового рівня – 18 мг-екв/дм<sup>3</sup>. При цьому повна обмінна динамічна ємність іоніту за міддю сягала 1841 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Проте різниця у селективності катоніту КУ-2-8 за даними катіонами при досліджуваному діапазоні концентрацій була недостатньою для ефективного їх розділення у процесі сорбції.

Оскільки катіоніт КУ-2-8 має значну селективність по іонам жорсткості, зокрема по  $Ca^{2+}$  (і меншу селективність по іонам важких металів), важливим було оцінити можливість сорбції іонів важких металів в присутності іонів кальцію.

Як показали наші дослідження (рис. 3), цей катіоніт в  $Na^+$ - формі, поряд із пом'якшенням води, забезпечує досить ефективне вилучення іонів міді. Повна обмінна динамічна ємність (ПОДС) іоніту за іонами жорсткості становила 2947 мг-екв/дм<sup>3</sup>. За міддю його ємність склала всього 179 мг-екв/дм<sup>3</sup>. Однак в усіх пробах концентрація міді після катіоніту не перевищувала 0,28 мг/дм<sup>3</sup> при початковій концентрації 5,3 мг/дм<sup>3</sup>. Очевидно, що і за умов, коли іоніт перейшов у  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  форму він ще міг певний час сорбувати іони міді. Адже відомо, що такий іоніт сорбує іони міді у  $Ca^{2+}$ - формі [12]. Проте за таких низьких концентрацій іонів міді до встановлення динамічної рівноваги за іонами міді потрібно було б пропускати десятки кубічних дециметрів води при об'ємі іоніту всього 10 см<sup>3</sup>. Цей дослід показує, що катіоніт КУ-2-8 сорбує іони міді з води навіть за її низьких концентрацій при жорсткості 4,8 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

Доцільність застосування іонного обміну суттєво залежить від процесів регенерації іонітів та утилізації регенераційних розчинів. Про ефективність регенерації катіоніту КУ-2-8 в  $Cd^{2+}$ -,  $Zn^{2+}$ -,  $Ni^{2+}$ -та  $Cu^{2+}$ - формі можна судити за результатами, наведеними на рис. 4 та 5. Як видно з рис. 4, концентрації іонів важких металів у процесі регенерації знижуються з 400-600 мг-екв/дм<sup>3</sup> до 54-64 мг-екв/дм<sup>3</sup> при зростанні кислотності з 0,47 мг-екв/дм<sup>3</sup> до 1,2 мг-екв/дм<sup>3</sup>.

При використанні проб регенераційних розчинів з концентрацією 50-150 мг-екв/дм<sup>3</sup> повторно для регенерації на наступній стадії (~50 % від використаного об'єму кислоти) і при застосуванні розчинів 5%-ї кислоти на другій стадії регенерації можна отримувати розчини важких металів із концентрацією 200...300 мг-екв/дм<sup>3</sup> (10...20 г/дм<sup>3</sup>) із кислотністю ~1 г-екв/дм<sup>3</sup>. Це необхідно враховувати при виборі методу переробки відпрацьованих регенераційних розчинів.

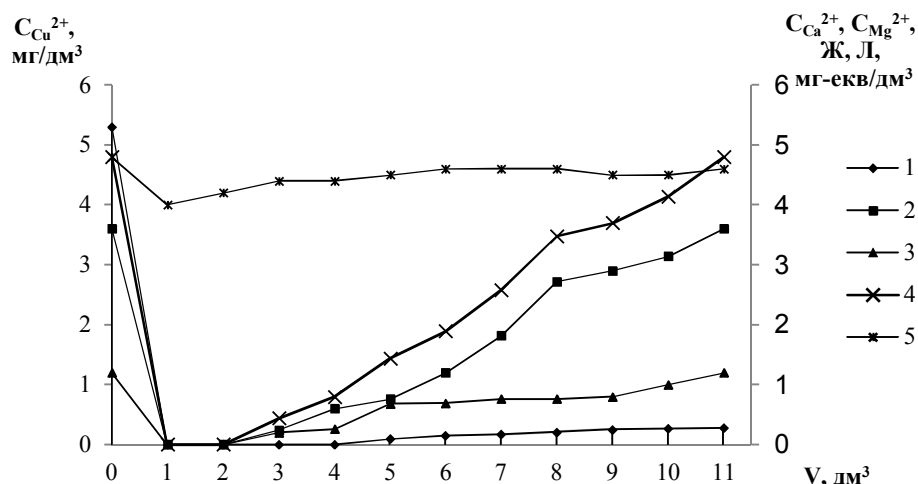


Рис. 3. Залежність залишкової концентрації міді (1), кальцію (2), магнію (3), жорсткості (4), лужності (5) розчину міді у водопровідній воді ( $Ж = 4,8$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C(Ca^{2+}) = 3,6$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $C(Mg^{2+}) = 1,2$  мг-екв/дм<sup>3</sup>;  $Л = 4,8$  мг-екв/дм<sup>3</sup>,  $C(Cu^{2+}) = 5,3$  мг/дм<sup>3</sup>) від пропущеного об'єму розчину через катіоніт КУ-2-8 в Na<sup>+</sup>- формі ( $V_i = 10$  см<sup>3</sup>) (ПОДС1 = 179 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС2 = 2262 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС3 = 685 мг-екв/дм<sup>3</sup>; ПОДС4 = 2947 мг-екв/дм<sup>3</sup>)

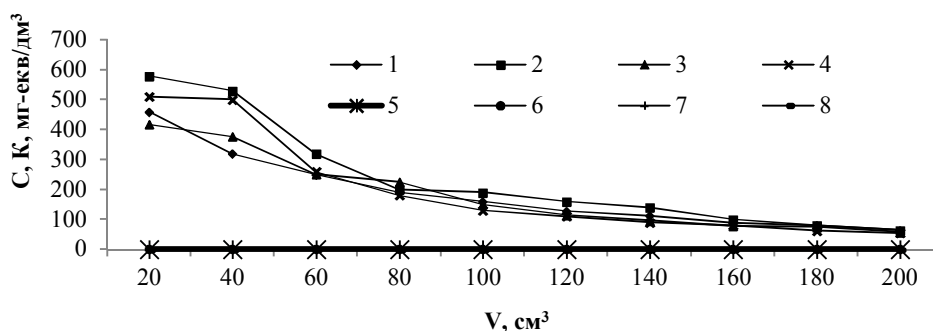


Рис. 4. Залежність концентрації іонів кадмію (1), цинку (2), міді (3), нікелю (4), кислотності розчинів (5,6,7,8) від пропущеного об'єму 5%-го розчину сірчаної кислоти при регенерації катіоніту КУ-2-8 в Cd<sup>2+</sup>- (1;5), Zn<sup>2+</sup>- (2;6), Cu<sup>2+</sup>- (3;7), Ni<sup>2+</sup>- (4;8) формі ( $V_i = 20$  см<sup>3</sup>)

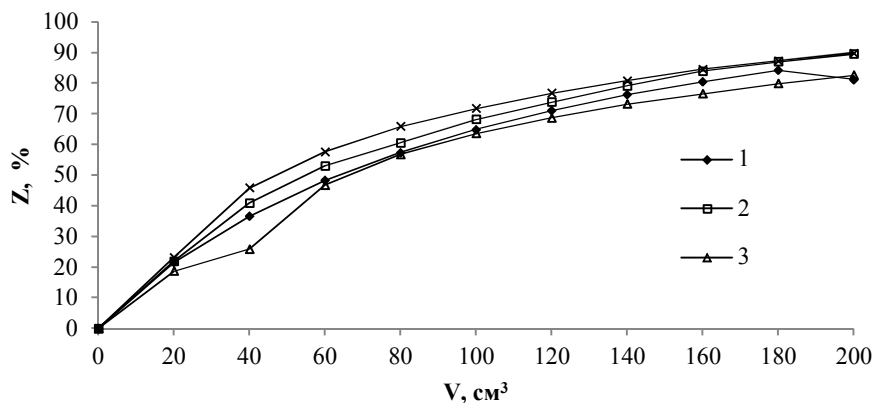


Рис. 5. Зміна ступеня десорбції кадмію (1), цинку (2), міді (3), нікелю (4) із об'ємом пропущеного регенераційного розчину (5%-ї H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) через катіоніт КУ-2-8 в Cd<sup>2+</sup>- (1), Zn<sup>2+</sup>- (2), Cu<sup>2+</sup>- (3), Ni<sup>2+</sup>- (4) формі ( $V_i = 20$  см<sup>3</sup>)

Взагалі застосування 5 % сірчаної кислоти дозволяє досягти ступеня регенерації катіоніту на рівні 80...90 %. Варто зазначити, що при десорбції суміші іонів кадмію та цинку, кадмію та нікелю, цинку та нікелю при використанні 5%-го розчину сірчаної кислоти було досягнуто ступеня десорбції важких металів на рівні 96...99% (рис. 6).

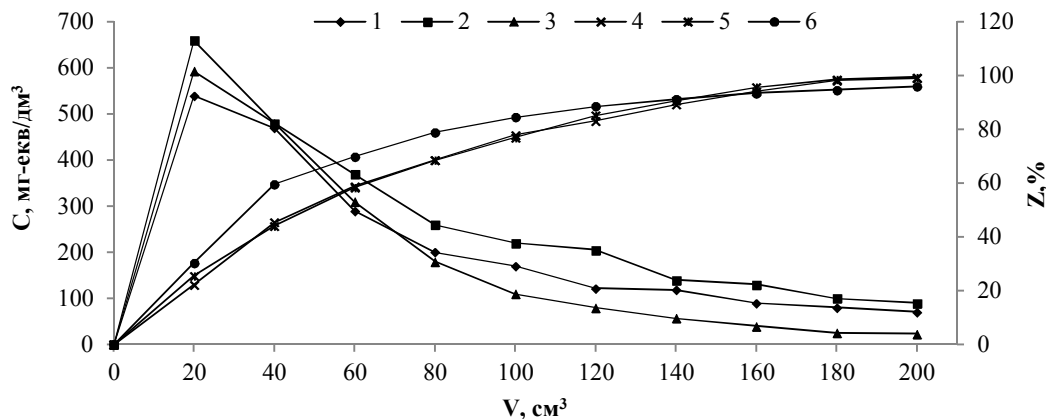


Рис. 6. Залежність вихідної концентрації іонів кадмію та цинку (1), кадмію та нікелю (2), цинку і нікелю (3), ступеня регенерації катіоніту КУ-2-8 в  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  (4),  $Cd^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  (5),  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  (6) формі ( $V_i=20\text{cm}^3$ ) від пропущеного об'єму 5%-го розчину сірчаної кислоти

При цьому кращі результати було отримано при десорбції іонів з іонітів, на яких було сорбовано, крім інших, іони кадмію.

Отже, суміші іонів важких металів при кислотній регенерації вимиваються з катіоніту КУ-2-8 не гірше, ніж з іонітів з сорбованим одним видом іонів.

Це підтверджують і результати, наведені на рис. 7. У цьому випадку показано, що краще з катіоніту КУ-2-8 десорбуються іони кадмію, цинку та міді, суміші міді з цинком та нікелем. Хоча загалом ефективність регенерації була високою, а ступінь десорбції металів становив 81...99 %.

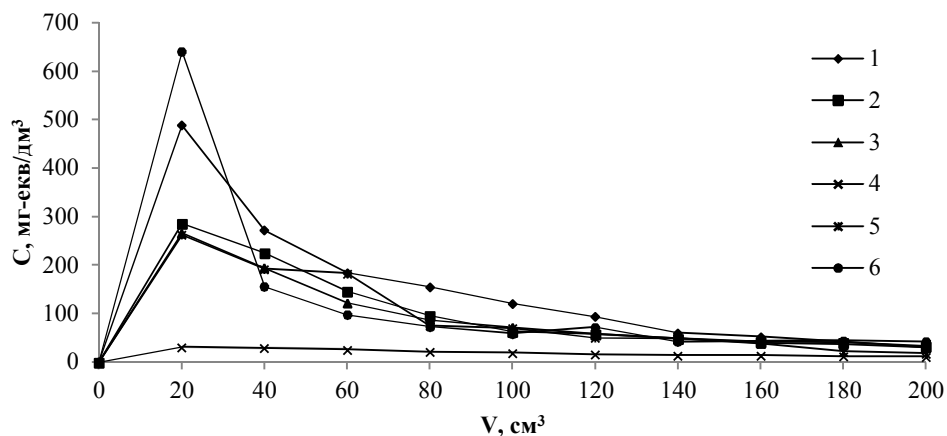


Рис. 7. Зміна вихідної концентрації іонів міді (1;2;3), кадмію (4), цинку (5) та нікелю (6) від пропущеного об'єму 5%-го розчину сірчаної кислоти через катіоніт КУ-2-8 в  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  (1;4),  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  (2;5) та  $Cu^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$  (6) формі ( $V_i = 20\text{cm}^3$ )

Слід зауважити, що різниця в селективності катіоніту КУ-2-8 за двозарядними катіонами важких металів була не настільки суттєвою, щоб їх можна було розділяти у процесі регенерації катіоніту. Це видно по кривих десорбції міді і кадмію (рис. 7, крива

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

1; 4). Мідь і кадмій вимивалися з катіоніту практично одночасно у кількостях, еквівалентних кількості сорбованих іонів.

**Висновки відповідно до статті.**

1. Із наведених результатів видно, що катіоніт КУ-2-8 має вищу селективність по іонах  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  в порівнянні з іонами  $Cd^{2+}$ . Проте в умовах концентрування важких металів на катіонітах, при очищенні гальваностоків досягнути ефективного розділення таких катіонів неможливо (на 1800 мг-екв сорбованих  $Cu^{2+}$  приходиться близько 190 мг-екв сорбованих іонів  $Cd^{2+}$ ). Селективність іоніту по  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$  приблизно однакова.

2. Показано, що іони кальцію за селективністю близькі до катіонів важких металів ( $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ), тому при застосуванні іонообмінного вилучення іонів важких металів із гальваностоків необхідно застосовувати знесолену або Na- катіоновану воду.

3. Іони важких металів сорбовані індивідуально, а також у сумішах з іншими катіонами важких металів ефективно десорбуються сірчаною кислотою незалежно від їхнього співвідношення в сорбційному об'ємі.

**Список використаних джерел**

1. *Разработка* технологического процесса очистки сточной воды гальванического производства / И. С. Курцхалия [и др.] // Изв. АН Грузии. Сер. хим. – 2005. – № 1-2. – С. 24–29.

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. – Миколаїв: НУК, 2015. – № 4. – С. 98–105.

3. *Гомеля М. Д.* Очистка гальваностокот от ионов кадмия ионнообменным методом / М. Д. Гомеля, В. М. Радовенчик, О. В. Глушко // Екологія і ресурси. – 2007. – № 16. – С. 57–62.

4. *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. – P. 300–310.

5. *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.

6. *Макаренко І. М.* Оцінка впливу іонів твердості на ефективність очищення води від іонів міді / І. М. Макаренко, Ю. В. Носачова, О. І. Іваненко // Вісник НТУУ «КПУ», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2014. – № 1 (12). – С. 54–59.

7. *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 «КПУ», серія «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2016. – № 1 (15). – С. 60–65.

8. *Застосування* слабокислотного катіоніту DOWEX-MAC-3 для стабілізаційної обробки води / І. М. Макаренко, О. В. Глушко, В. В. Рисухін, В. П. Малін // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – № 3/6 (57). – С. 16–20.

9. *Физико-химические методы анализа: практическое руководство : учебное пособие для вузов* / [В. Б. Алесковский, В. В. Бардин, М. И. Булатов и др. ; под ред. В. Б. Алесковского]. – Л. : Химия, 1988. – 376 с.

10. *Гомеля Н. Д.* Разработка экологически чистой технологии извлечения цинка из гальваностокот / Н. Д. Гомеля, И. С. Сагайдак // Перспективные направления развития экологии, экономики, энергетики : сб. науч. ст. / ОЦНТЭИ. – Одесса, 1999. – С. 81–85.

11. *Сагайдак І. С.* Локалізація та знешкодження стічних вод, забруднених сполуками хрому, кадмію та цинку : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 21.06.01 «Техногенна безпека держави» / І. С. Сагайдак ; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут». – К., 2000. – 20 с.

12. *Шаблій Т. О.* Вилучення іонів міді з води теплообмінних циркуляційних систем / Т. О. Шаблій // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – № 3/8 (45). – С. 10–13.

**References**

1. Kurtskhaliya, I. S., Enukidze, N. E., Simoniya, Z. M., Partsvaniya, D. A. & Nadirashvili, M. V. (2005). *Razrabotka tekhnologicheskogo protsessa ochistki stochnoi vody galvanicheskogo*

производства [Development of technological process of wastewater treatment of galvanic production]. *Izvestiya akademii nauk Gruzii. Seriya khimicheskaya – Proceedings of the Academy of Sciences of Georgia. Chemical series*, 1-2, 24–29 [in Russian].

2. Trokhymenko, H. H. & Tsyhaniuk, N. V. (2015). Yznachennia stupeniu kumuliatsii vazhkykh metaliv u hidrobiontakh Buzkoho 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*, 4, 98–105. Mykolaiv: NUK [in Ukrainian].

3. Homelia, M. D., Radovenchyk, V. M. & Hlushko, O. V. (2007). Ochystka halvanostokov ot yonov kadmyia yonoobmennym metodom [Cleaning of galvanic rocks from cadmium ions by the ion exchange method]. *Ekolohiia i resursy – Ecology and resources*, 16, 57–62 [in Russian].

4. 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*, 250, 300–310 [in English].

5. Malin, V. P., Homelia, M. D. & Halimova, V. M. (2016). Efektyvnist zastosuvannia 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 hidravliky. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk - Problems of water supply, drainage and hydraulics. Scientific and technical collection*, 26, 45–54 [in Ukrainian].

6. Makarenko, I. M., Nosachova, Yu. V. & Ivanenko, O. I. (2014). Otsinka vplyvu ioniv tverdosti na efektyvnist ochyshchennia vody vid ioniv midi [Estimation of the influence of hardness ions on the efficiency of water purification from copper ions]. *Visnyk NTUU «KPU», serii «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberzhennia» – Bulletin of the NTUU «KPU» series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation»*, 1 (12), 54–59 [in Ukrainian].

7. 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», serii «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberzhennia» – Bulletin of the NTUU «KPU» series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Conservation»*, 1(15), 60–65 [in Ukrainian].

8. Makarenko, I. M., Hlushko, O. V., Rysukhin, V. V. & Malin, V. P. (2012). Zastosuvannia slabokyslotnoho kationitu DOWEX-MAC-3 dlia stabilizatsiinoi obroby vody [Application of low-acid cation exchanger DOWEX-MAC-3 for stabilizing water treatment]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii - East European Magazine of Advanced Technology*, 3/6 (57), 16–20 [in Ukrainian].

9. Aleskovskiy, V. B., Bardin, V. V., Bulatov, M. I. (1988). *Fiziko-himicheskie metody analiza. Prakticheskoe rukovodstvo: Uchebnoe posobie dlja vuzov [Physicochemical methods of analysis. A Practical Guide: A Textbook for Universities]*. V. B. Aleskovskyy (Ed.). Leningrad: Khimiia [in Russian].

10. Homelia, N. D. & Sagajdak, I. S. (1999). Razrabotka ekologicheskii chistoi tekhnologii izvlecheniia tsinka iz galvanostokov [Development of ecologically pure technology of extraction of zinc from galvanic rocks]. Proceedings from *Perspektivnye napravlenija razvitija jekologii, jekonomiki, energetiki: zbirnyk naukovykh prats Mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii [International Scientific Conference. Perspective directions of development of ecology, economy, power engineering]*. Odessa: OCNTEI [in Russian].

11. Sahaidak, I. S. (2000). Lokalizatsiia ta zneshkodzhennia stichnykh vod, zabrudnenykh spolukamy khromu, kadmiu ta tsynku [Localization and disposal of wastewater contaminated with chromium compounds, cadmium and zinc]. (*Extended abstract of candidate's thesis*). National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv [in Ukrainian].

12. Shablii, T. O. (2010). Vyluchennia ioniv midi z vody teploobminnykh tsyrkuliatsiinykh system [Emission of copper ions from water of heat exchange circulating systems]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii – East European Magazine of Advanced Technology*, 3/8 (45), 10–13 [in Ukrainian].

*Nikolai Gomelya, Ganna Trohymenko, Olena Hlushko*

## INFLUENCE OF LANDSCAPE IONS ON SORPTION OF HEAVY METALS ON CATIONITE

**Urgency of the research.** Actual issues are the treatment of sewage of galvanic plants containing heavy metal ions. The cumulative effect, the carcinogenic action of the latter on living organisms leads to an active search for ways to remove heavy cations from sewage. The method of ion exchange is of interest.

**Target setting.** Wastewater from galvanic plants contains mixtures of heavy metal cations. It was advisable to investigate the effect of rigidity ions on the selectivity of ion exchangers and the prospects of separation of heavy metals during sorption on strongly acidic ion exchangers.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The processes of sorption of zinc, cadmium, nickel and copper ions on cation exchange of KU-2-8 have been investigated. The selectivity of cation exchangers for heavy metal ions at low concentrations is less selectivity in ions of rigidity. At ion-exchange mitigation of water it is possible to extract copper ions on weakly acidic cation exchangers.

**Uninvestigated parts of general matters defining** is the evaluation of the influence of rigid ions on the sorption of heavy metal ions when they are removed from sewage from galvanic productions when used for washing of tap water parts.

**The research objective** was the study of the influence of rigidity ions and the mutual influence of heavy metal ions on their sorption on strongly acidic cation exchangers.

**The statement of basic materials.** Cationite KU-2-8 effectively removes ions of heavy metals from solutions containing their mixtures. It is shown that the difference in the selectivity of cation exchangers on heavy metal ions is not sufficient for efficient separation during sorption.

It was established that ionite adsorbs copper ions from water even at low concentrations with a hardness of 4.8 mg-eq/dm<sup>3</sup>.

Mixtures of heavy metals in acid regeneration are washed out of cation exchanger KU-2-8 not worse than ion exchanged with sorbent one type of heavy metal ions.

**Conclusions.** In the conditions of concentration of heavy metals on cation exchangers it is impossible to effectively divide these cations data.

When applying ion-exchange extraction of cations of heavy metals from galvanostics, it is necessary to use desalted or Na-cationized water.

It has been established that heavy metal ions are sorbed individually and in mixtures with other heavy metal ions are effectively desorbed with sulfuric acid, regardless of the ratio in sorption volume.

**Keywords:** heavy metals; ion exchange; sorption; regeneration of ion exchanger; ions of rigidity.

Fig.: 7. References: 12.

*Николай Гомеля, Анна Трохименко, Елена Глушко*

## ВЛИЯНИЕ ИОНОВ ЖЕСТКОСТИ НА СОРБЦИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ НА КАТИОНИТЕ

**Актуальность темы исследования.** Актуальным вопросом является очистка сточных вод гальванических производств, содержащих ионы тяжелых металлов. Кумулятивный эффект, канцерогенное действие последних на живые организмы предопределяет активный поиск путей извлечения катионов тяжелых металлов из сточных вод. Вызывает интерес метод ионного обмена.

**Постановка проблемы.** Сточные воды гальванических производств содержат смеси катионов тяжелых металлов. Целесообразным было исследование влияния ионов жесткости на селективность ионита и перспективы разделения тяжелых металлов в процессе сорбции на сильнокислотном ионите.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследованы процессы сорбции ионов цинка, кадмия, никеля и меди на катионите КУ-2-8. Селективность катионита по ионам тяжелых металлов при низких их концентрациях меньше селективности по ионам жесткости. При ионообменном смягчении воды возможно извлечение ионов меди на слабокислотном катионите.

**Нерешенной частью общей проблемы** является оценка влияния ионов жесткости на сорбцию ионов тяжелых металлов при изъятии их из сточных вод гальванических производств при использовании для промывки деталей водопроводной воды.

**Постановкой задачи** было изучение влияния ионов жесткости и взаимного влияния ионов тяжелых металлов на их сорбцию на сильнокислотном катионите.

**Изложение основного материала.** Катионит КУ-2-8 эффективно удаляет ионы тяжелых металлов из растворов, содержащих их смеси. Показано, что разница в селективности катионита по ионам тяжелых металлов недостаточна для эффективного их разделения в процессе сорбции.

Установлено, что ионит сорбирует ионы меди из воды даже при низких концентрациях при жесткости 4,8 мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Смеси тяжелых металлов при кислотной регенерации вымываются из катионита КУ-2-8 не хуже, чем из ионита с сорбированным одним видом ионов тяжелых металлов.

**Висновки.** В умовах концентрування важких металів на катіоніти досягти ефективного розділення даних катіонів неможливо.

При використанні іонообмінного видалення катіонів важких металів з гальваностоків необхідно застосовувати обессолену або Na-катіоновану воду.

Встановлено, що іони важких металів сорбуються індивідуально і в сумісях з іншими іонами важких металів ефективно десорбуються серною кислотою, незалежно від співвідношення в сорбційному об'ємі.

**Ключові слова:** важкі метали; іонний обмін; сорбція; регенерація іоніти; іони жорсткості.

Рис.: 7. Бібл.: 12.

**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>

Scopus Author ID: 6507653734

**Трохименко Ганна Григорівна** – кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри екологічної безпеки та охорони праці, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова (просп. Героїв Сталінграда, 9, м. Миколаїв, 54025, Україна).

**Трохименко Анна Григорьевна** – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры экологической безопасности и охраны труда, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (просп. Героев Сталинграда, 9, г. Николаев, 54025, Украина).

**Trohymenko Ganna** – PhD in Biological Sciences, Associate professors, Head of Department of Environmental Safety and Occupational Safety Department of Environmental Safety and Occupational Safety, National University of Shipbuilding named Admiral Makarov (9 Heroes of Stalingrad Av., 54025 Nikolaev, Ukraine).

E-mail: antr@ukr.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0835-3551>

Scopus Author ID: 57192818654

**Глушко Олена Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Глушко Елена Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Hlushko Olena** – PhD in Technical Sciences, Associate professors 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: alyona\_glushko@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8243-5707>

Олена Пінчевська, Василь Борячинський, Юрій Ромасевич

## ОСОБЛИВОСТІ КІНЕТИКИ ІНТЕНСИФІКОВАНОГО СУШІННЯ ЗАГОТОВОК З ДЕРЕВИНИ ДУБА

**Актуальність теми дослідження.** У технологічному процесі виробництва деревних виробів операція сушіння є обов'язковою, проте найбільш довготривалою та дорогою. Ця проблема вимагає створення режимів та способів сушіння, які б дали можливість скоротити терміни процесу без якісних змін матеріалу. Тому розробка енергозберігаючої технології сушіння заготовок із деревини дуба без втрати якості матеріалу є актуальним завданням для подальших досліджень сушіння.

**Постановка проблеми.** Інтенсифікувати процес сушіння в конвективних камерах можна за рахунок підвищення температури агента сушіння. З метою запобігання руйнуванню деревини під час сушіння за високих температур доцільно її висушувати осцилювальними режимами, які складаються з періодів короткочасного нагрівання за високої відносної вологості повітря та охолодження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження циклічних способів сушіння деревини, які були висвітлені в наукових роботах, ґрунтувалися на процесах атмосферного сушіння та сушіння деревини в геліосушарках, коли зміна температури матеріалу відбувається за синусоїдальним законом.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Сьогодні не набув використання осцилювальний спосіб сушіння пилопродукції з деревини дуба через відсутність раціональних режимів сушіння.

**Постановка завдання.** Визначення параметрів раціонального режиму сушіння заготовок з деревини дуба в процесі осцилювального сушіння.

**Виклад основного матеріалу.** Наведено основні результати експериментальних досліджень кінетики осцилювального сушіння заготовок із деревини дуба звичайного і дуба червоного з метою визначення режимних параметрів. Деревину дуба сушили в лабораторному пристрої до вологості 8 % за температури агента сушіння 80 °С. Найбільша швидкість видалення вільної води зі зразків спостерігалася для амплітуди коливань температури 30 °С. Визначено, що періодичність циклів «нагрівання-охолодження» доцільно проводити для деревини, що містить вільну вологу для прискорення її видалення. Після досягнення вологості 20 % дубові заготовки слід висушувати за сталої температури нагрівання. Для встановлення безпечних режимів сушіння деревини, крім температури нагрівання, визначено величину ступеня насичення повітря у цей період.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що температура деревини змінюється не за синусоїдальним законом. Згідно з дослідженням процес циклічного нагрівання відбувається за поліноміальною залежністю, а процес циклічного охолодження – за експоненціальною. На базі цього запропоновано теоретичні рівняння кінетики зміни температур нагрівання та охолодження. На основі практичних досліджень та теоретичних розрахунків розроблені раціональні режими осцилювального сушіння заготовок з деревини дуба товщиною 50 мм.

**Ключові слова:** дуб звичайний (*Quercus robur*); дуб червоний (*Quercus rubra*); кінетика осцилювального сушіння; раціональні режими.

Рис.: 5. Табл.: 2. Бібл.: 6.

**Постановка проблеми.** Переміщення вологи в матеріалі відбувається за складними законами, що залежать від параметрів висушувального матеріалу й агента сушіння. Це довготривалий процес, який займає від декількох тижнів до двох-трьох місяців залежно від товщини пилопродукції. Інтенсифікувати його в конвективних камерах можна через підвищення температури, зниження відносної вологості та підвищення циркуляції агента сушіння [1]. З метою запобігання руйнуванню деревини під час сушіння за підвищених температур доцільно зменшити їхню дію на матеріал, тобто висушувати осцилювальними режимами, що характеризуються переривчастою зміною температури агента сушіння.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Процес сушіння за осцилювальними режимами характеризується періодичністю надходження потоку теплової енергії. У зв'язку з цим закономірності, що описують процес тепло- і масообміну, повинні відображати цю періодичність [2]. Подібна ситуація спостерігається в геліосушарках, де також спостерігається циклічна зміна температури сушильного агента.

Осцилювальний режим являє собою сукупність процесів сушіння з циклічним нагріванням-охолодженням пиломатеріалів із подачею пари в період нагрівання та відкриттям припливно-витяжних каналів у період охолодження.

Враховуючи періодичність нагрівання деревини в процесі сушіння, за аналогією з впливом сонячної радіації за синусоїдальним законом [2] зміну температури можна подати виразом:



$$t = t_{c.cp} + A_t \sin\left(\frac{2\pi}{\tau_{\text{ц}}} \cdot \tau_{\text{ном}}\right), \quad (1)$$

де  $A_t$  – амплітуда осцилювання, °С;

$\tau_{\text{ц}}$  – тривалість одного циклу (нагрівання-охолодження), год;

$\tau_{\text{ном}}$  – поточна тривалість, год;

$t_{c.cp}$  – середня температура, визначається за формулою:

$$t_{c.cp} = \frac{t_{\text{наг}} + t_{\text{охол}}}{2}, \quad (2)$$

де  $t_{\text{наг}}$  – температура нагрівання, °С;

$t_{\text{охол}}$  – температура охолодження, °С.

Для описання динаміки зміни фізичних і теплових властивостей деревини під час сушіння використано критеріальні рівняння, які залежать від температури й вологості середовища і деревини [3]:

$$\frac{t_n - t_{\text{ц}}}{t_c - t_{\text{ноч}}} = \frac{1}{2} K i_m \varepsilon K o L u, \quad (3)$$

де  $\varepsilon$  – коефіцієнт фазового перетворення вологи;

$t_n$  – температура поверхні деревини, °С;

$t_{\text{ц}}$  – температура центра деревини, °С;

$t_c$  – температура середовища, °С;

$t_{\text{ноч}}$  – початкова температура деревини, °С;

$K i_m$  – масообмінний критерій Кірпічова;

$K o$  – критерій Косовича;

$L u$  – критерій Ликова.

З урахуванням формул (1–2) температуру деревини можна визначити за рівнянням:

$$t_n = t_{c.cp} + A_t \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{\tau_{\text{ц}}} \cdot \tau_{\text{ном}}\right) + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{\text{ноч}}) \cdot K i_m \varepsilon K o L u. \quad (4)$$

На якість сушіння впливає не лише температура нагрівання  $t_n$ , але і ступінь насичення  $\varphi$ . Ці величини передбачаються режимом, і щоб не отримати брак, необхідно визначити значення ступеня насичення [4]:

$$\varphi = 100^{1 - (0,006 + 10^{-5} (120 - t_c)^{1,46}) \Delta t^{1,074 + 10^{-17} (146 - t_c)^{7,77}}}, \quad (5)$$

де  $\Delta t$  – психрометрична різниця між температурою сухого і змоченого термометрів,  $\Delta t = t_c - t_m$ , °С.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні немає теоретично підтверджених та експериментально перевірених режимів сушіння деревини дуба циклічним способом, а саме рівня температури під час «теплого удару», швидкості видалення вологи в процесі осцилювання, значення ступеня насичення в період нагрівання, які б забезпечували неруйнівне сушіння деревини.

**Мета статті.** Визначення параметрів раціонального режиму сушіння заготовок з деревини дуба в процесі осцилювального сушіння.

**Виклад основного матеріалу.** Для визначення раціональних параметрів осцилювального режиму було вибрано заготовки дуба звичайного та дуба червоного товщиною 50 мм. Деревину сушили в лабораторній сушильній установці до вологості 8 % за режимом, параметри якого наведено у табл. 1. У процесі сушіння контролювали температурні й вологісні параметри матеріалу та агента сушіння. У кінці процесу сушіння проводили термовологообробку.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

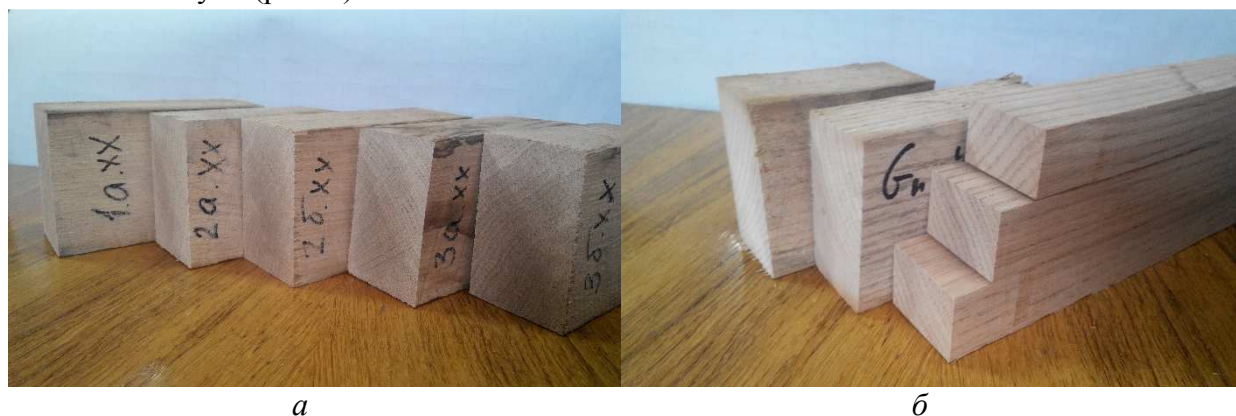
Заготовки дуба звичайного і дуба червоного висушували за осцилювальним режимом до досягнення матеріалом вологості 20 % і досушували за постійної температури. У процесі сушіння дуба звичайного циркуляція агента сушіння становила 0,2 м/с, а дуба червоного – 1,2 м/с.

Таблиця 1

*Режим осцилювального сушіння дубових заготовок товщиною 50 мм*

Параметр	Показник
Температура середовища, °С	80
Температура нагрівання заготовок, °С	65
Температура охолодження заготовок, °С	35
Ступінь насичення в період охолодження, %	95

Вибрана різниця між температурою нагрівання та охолодження дорівнювала 30 °С. Збільшення значення амплітуди осцилювання є недоцільним, оскільки збільшується час для нагрівання матеріалу та витрати енергії на подальший цикл нагрівання. При зменшенні цього значення деревина перебуватиме під дією високих температур, що сприятиме зменшенню її міцності. Тривалість сушіння заготовок дуба звичайного становила 638,0 год, а дуба червоного – 375,9 год. За результатами дослідження дефектів сушіння виявлено не було (рис. 1).



*Рис. 1. Результат сушіння заготовок, висушених за осцилювальними режимами:  
а – дуба звичайного, б – дуба червоного*

Періодичність циклів «нагрівання-охолодження» доцільно проводити для деревини, що містить вільну вологу для прискорення її видалення. Тому дубові заготовки після досягнення 20 % висушували за сталої температури нагрівання, оскільки спостерігалося зниження швидкості видалення зв'язаної вологи під час імпульсної дії теплоти (рис. 2). Крім того, на останній фазі сушіння ймовірність зростання небезпечних сушильних напружень є незначною, тобто необхідність періодичного охолодження матеріалу для релаксації відпадає [5].

Визначено, що тривалість зміни температури в період нагрівання відрізняється від тривалості її зміни в період охолодження. Порівняння теоретичної кривої зміни температури в часі з експериментальною показало (рис. 3), що кореляція експериментальних даних із розрахунковими є несуттєвою –  $r \approx 0,55$ . Через це не можна стверджувати про зміну температури в часі за синусоїдальним законом (рівняння 1).

Запропоновано зміну кривої періоду нагрівання апроксимувати за поліноміальною залежністю, а період охолодження – за експоненціальною (рис. 4). При цьому тривалість нагрівання матеріалу є меншою практично в 3 рази за час охолодження [6].

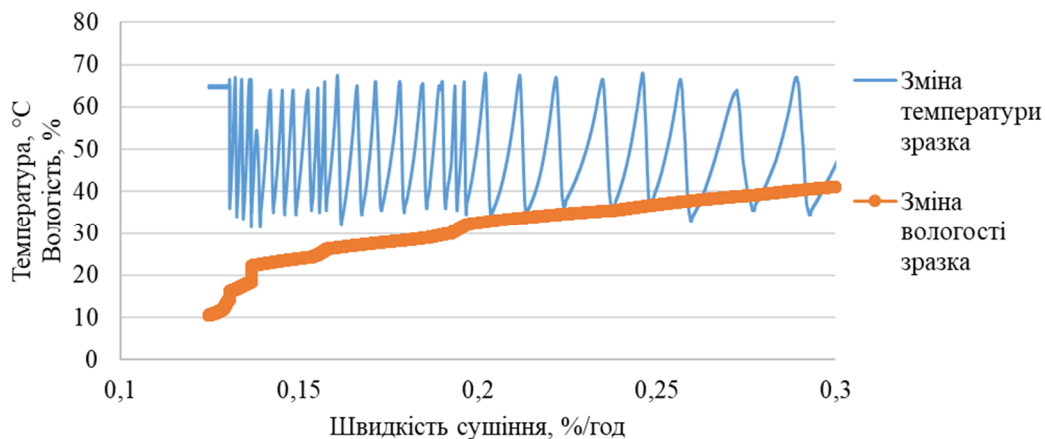


Рис. 2. Кінетика сушіння заготовок дуба червоного товщиною 50 мм

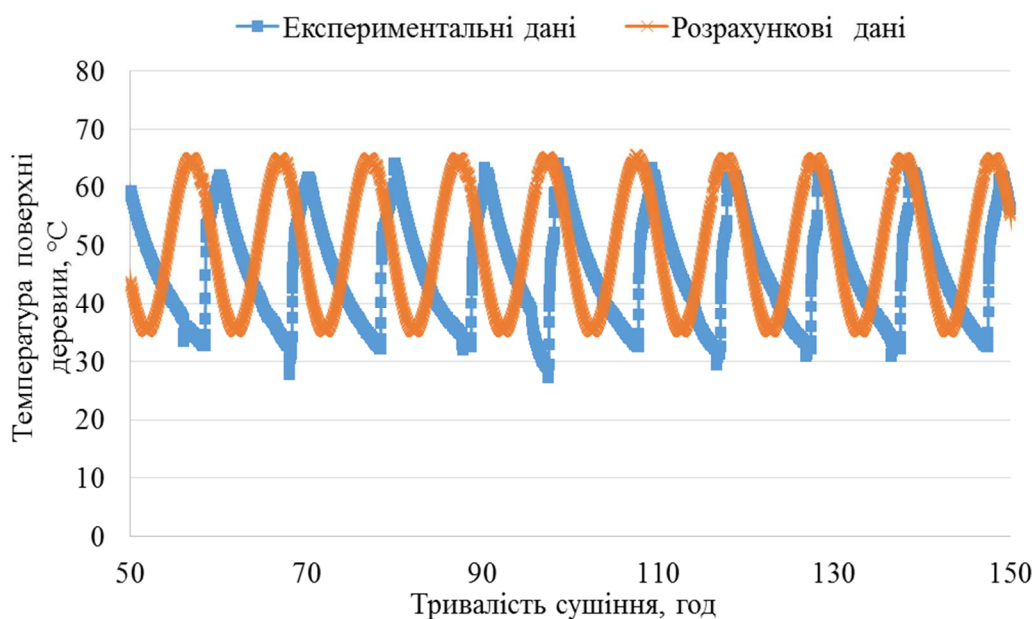


Рис. 3. Зміна температури поверхні деревини дуба звичайного товщиною 50 мм у процесі сушіння осцилювальним режимом

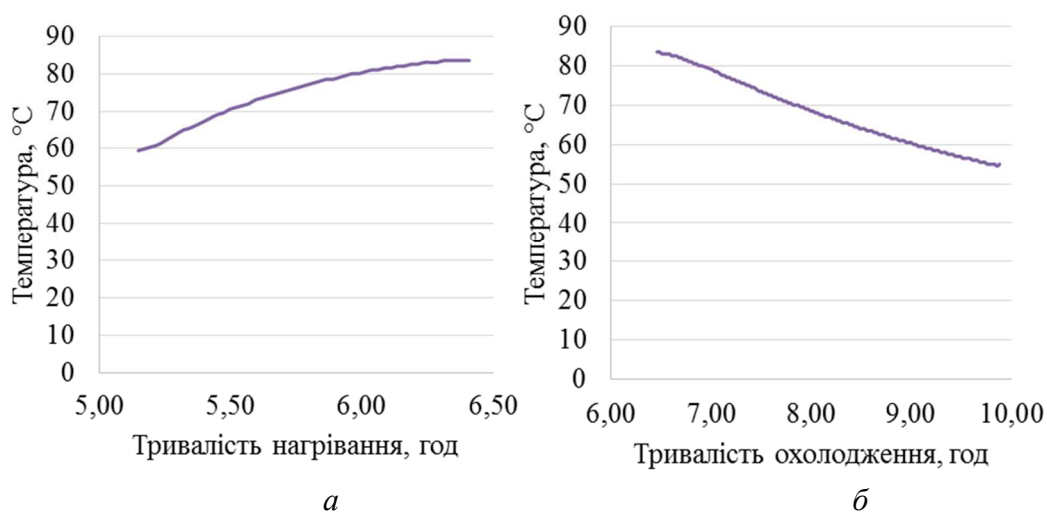


Рис. 4. Криві кінетики нагрівання (а) та охолодження (б) заготовок дуба звичайного товщиною 50 мм

Згідно з відмінностями кінетики зміни температури поверхні зразків у періоді нагрівання  $t_{пов. нагр}$ , год, та охолодження  $t_{пов. охол}$ , год, скориговано висунуту гіпотезу щодо синусоїдального закону зміни температури матеріалу. Запропоновано розглядати окремо періоди нагрівання та охолодження – рівняння (4):

$$\begin{cases} t_{пов. нагр} = t_{ц. нагр} + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ц. охол}) \cdot Ki_m \varepsilon Ko Lu, \\ t_{пов. охол} = t_{ц. охол} + \frac{1}{2} \cdot (t_c - t_{ц. нагр}) \cdot Ki_m \varepsilon Ko Lu, \end{cases} \quad (6)$$

де  $t_{ц. нагр}$ ,  $t_{ц. охол}$  – температура центральної частини заготовок у період нагрівання та охолодження відповідно, °С, зміни яких у часі можна визначити за адекватними регресійними рівняннями:

– для дуба звичайного товщиною 50 мм:

$$\begin{cases} t_{ц. нагр} = 24,54 \cdot \tau_{нагр} - 4,48 \cdot \tau_{нагр}^2 + 35, \\ t_{ц. охол} = 65 \cdot e^{-0,08 \cdot \tau_{охол}}, \end{cases} \quad (7)$$

де  $\tau_{нагр}$  – тривалість періоду нагрівання, год;

$\tau_{охол}$  – тривалість періоду охолодження, год.

– для дуба червоного товщиною 50 мм:

$$\begin{cases} t_{ц. нагр} = 20,11 \cdot \tau_{нагр} - 8,18 \cdot \tau_{нагр}^2 + 35, \\ t_{ц. охол} = 65 \cdot e^{-0,11 \tau_{охол}}. \end{cases} \quad (8)$$

Коефіцієнт кореляції запропонованого рівняння зміни температур нагрівання та охолодження з експериментальними даними засвідчив високу відповідність  $r = 0,89 - 0,93$  (рис. 5).

З урахуванням рівняння (6) та експериментально визначених значень температури змоченого термометра, розраховано ступінь насичення  $\varphi$  агента сушіння в період нагрівання для заготовок із деревини дуба:

$$\varphi_{нагр} = 100^{1 - (0,006 + 10^{-5} (120 - t_c)^{1,46}) \cdot (t_c - t_{пов. нагр.})^{1,074 + 10^{-17} (146 - t_c)^{7,77}}}. \quad (9)$$

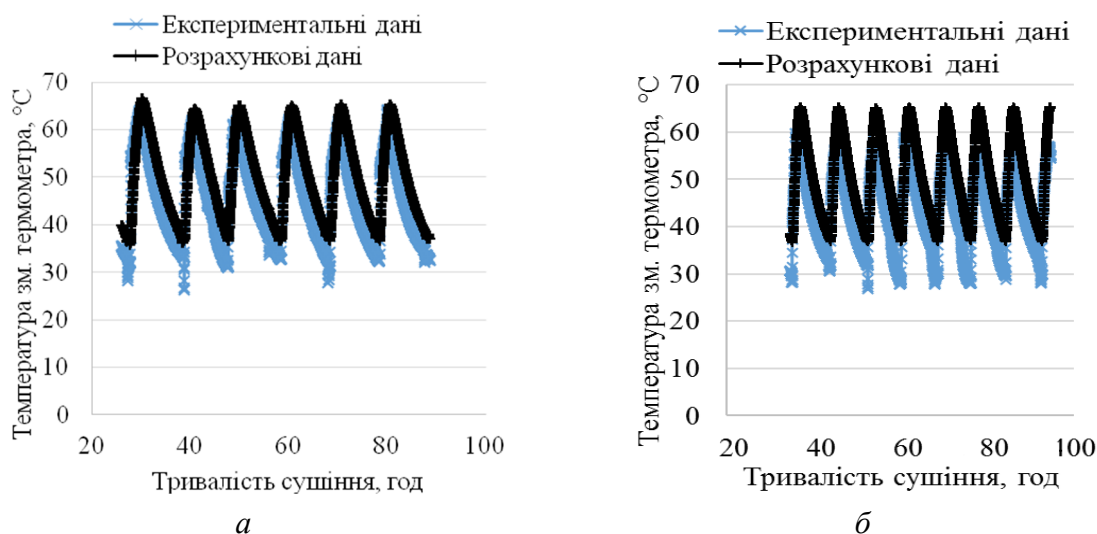


Рис. 5. Кінетика зміни температури змоченого термометра від початкової вологості  $W_{поч}$  до поточної вологості  $W_{пот3} = 20\%$  при сушінні заготовок товщиною 50 мм із деревини: а – дуба звичайного; б – дуба червоного

Відповідно до одержаних результатів теоретичних і експериментальних досліджень запропоновано осцилювальні режими сушіння заготовок дуба звичайного і дуба червоного товщиною 50 мм, параметри яких наведено у табл. 2.

Таблиця 2

*Режими сушіння заготовок із деревини дуба звичайного і дуба червоного товщиною 50 мм*

Середня вологість, %	Режимний параметр	Дуб звичайний	Дуб червоний
		25	50
>30	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Температура заготовок $t_{нагр}$ , °C	65	65
	Температура охолодження $t_{охол}$ , °C	35	35
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	95	95
30–25	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Температура заготовок $t_{нагр}$ , °C	65	65
	Температура охолодження $t_{охол}$ , °C	35	35
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	79	82
25–20	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Температура заготовок $t_{нагр}$ , °C	65	65
	Температура охолодження $t_{охол}$ , °C	35	35
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	55	57
20–15	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	40	45
<15	Температура середовища $t_c$ , °C	80	80
	Ступінь насичення повітря $\varphi$ , %	38	38

Використання запропонованих режимів осцилювального сушіння, які базуються на основі результатів експериментальних досліджень і теоретичних розрахунків, сприятиме скороченню енергетичних витрат за рахунок зменшення тривалості сушіння.

**Висновки відповідно до статті.** Згідно з експериментальними дослідженнями процес циклічного нагрівання відбувається за поліноміальною залежністю, а процес циклічного охолодження – за експоненціальною. На базі цього скориговано теоретичне рівняння кінетики зміни температур нагрівання та охолодження, яке полягає у поєднанні цих процесів, і відображає особливості осцилювального сушіння з врахуванням зміни тепло- і масообмінних критеріїв.

Визначено величину ступеня насичення агента сушіння та запропоновано раціональні режими сушіння заготовок з деревини дуба звичайного і дуба червоного товщиною 50 мм, які забезпечують цілісність матеріалу.

#### Список використаних джерел

1. *Сучасне лісосушильне та лісопилне устаткування* / О. О. Пінчевська, З. С. Сірко, В. С. Коваль, Н. В. Марченко. – Х. : ПФ «ЦентрІнформ», 2005. – 176 с.
2. *Тепнадзе М. У.* Режимы и технология сушки пиломатериалов в гелиосушилках : автореф. ... дис. канд. техн. наук : спец. 05.21.05 «Технология и оборудование деревообрабатывающих производств, древесиноведение» / Марина Ушангиевна Тепнадзе. – М., 1986. – 18 с.
3. *Лыков А. В.* Теория сушки / А. В. Лыков. – М. : Энергия, 1968. – 472 с.
4. *Меркушев И. М.* Психрометрическая диаграмма равновесной влажности древесины / И. М. Меркушев // ИВУЗ «Лесной журнал». – 2010. – № 2. – С. 83–86.
5. *Пінчевська О. О.* Сушіння заготовок дуба червоного осцилювальними режимами / О. О. Пінчевська, В. В. Борячинський, Г. Б. Іноземцев // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2016. – № 184. – С. 16–22.
6. *Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия* : ГОСТ 19773-84. – [Чинний від 1984-01-01] – М. : Стандартинформ, 2009. – 14 с. – (Межгосударственный стандарт).

## References

1. Pinchevska, O. O., Sirko, Z. S., Koval, V. S. & Marchenko, N. V. (2005). *Suchasne lisosushylne ta lisopylne ustatkuvannia [Modern wood drying and sawmill equipment]*. Kharkiv: PF «TsentrInform» [in Ukrainian].
2. Tepnadze, M. U. (1986). Rezhymy y tekhnolohyia sushky pylomaterialov v helyosushylkakh [The schedules and technology of lumber drying in solar kiln]. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
3. Lykov, A.V. (1968). *Teoriia sushki [Theory drying]*. Moscow: Energiia [in Russian].
4. Merkushev, I. M. (2010). Psikhrometricheskaia diargamma ravnovesnoi vlazhnosti drevesiny [Psychrometric Diagram of Equilibrium Wood Humidity]. *Lesnoy zhurnal – Forest magazine*, 2, 83–86 [in Russian].
5. Pinchevska, O. O., Boriachynskyi, V. V., Inozemtsev, H. B. (2016). Sushinnia zahotovok duba chervonoho ostsylivualnymy rezhymamy [Drying red oak samples by oscillating schedules]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka – Bulletin of Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture*, 184, 16–22 [in Ukrainian].
6. Pilomaterialy khvoinykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deistviia [Sawn timber of coniferous and broad-leaved species. Drying conditions in batch chambers]. (2009). *HOST 19773-84 from 1<sup>st</sup> January 2009*. Moscow: Mezghosudarstvennyi standart [in Russian].

UDC 674.047

Olena Pinchevska, Vasyl Boriachynskyi, Yuriy Romasevych

### PECULIARITIES OF KINETICS OF INTENSIFIED DRYING OAK WOOD SAMPLES

**Urgency of the research.** The process of production of wood goods drying operation is required, however, the most lengthy and expensive. This problem requires the creation of schedules and methods of drying, which would give the opportunity to reduce the time process without qualitative changes of the material. Therefore, the development of energy saving technology of oak wood drying without losing the quality of the material is an important task for future research drying.

**Target setting.** To intensify the drying process in convective kiln is possible by increasing the temperature of the drying agent. To prevent the destruction of timber during drying at high temperatures it is advisable to dry by oscillating schedules, which consist of periods of heating at the high air humidity and cooling.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The study of cyclic methods of drying wood, which was illuminated in scientific works, was based on the process of atmospheric drying and drying of wood in solar kiln when the temperature variation is sinusoidal.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Today has not entered use the method of oscillating drying of oak timbers because of the lack of rational drying schedules.

**The research objective.** Determination of the parameters of rational schedules of drying of oak samples in the oscillation drying process.

**The statement of basic materials.** The main results of experimental researches of kinetics oscillation of drying samples from European oak and red oak to determine the schedule parameters. The oak wood was dried in the laboratory installation to a moisture content of 8 % at temperature of drying agent 80 °C. The greatest rate of removal of free moisture from was sample is observed for the amplitude of the temperature fluctuations of 30 °C. Was fixed that the frequency of cycles "heating-cooling" is advantageously carried out for wood containing free moisture for rapid removal. After reaching a moisture of 20 % oak wood should be dried at a constant temperature. For the setting safe schedules of drying wood, besides heating temperature, was determined the value of air humidity during heating period.

**Conclusions.** It is established that the temperature of the wood varies not sinusoidal. According to the study, the cyclical process of heating occurs as a polynomial, and the process of cyclic cooling for the exponential. Based on this were proposed theoretical equations of the temperature kinetics during of heating and cooling periods. On the basis of practical and theoretical studies were developed rational schedules of oscillation drying of oak samples with a thickness of 50 mm.

**Keywords:** European oak (*Quercus robur*); Red oak (*Quercus rubra*); kinetics of oscillation drying; rational schedules.

Fig.: 5. Tabe: 2. References: 6.

УДК 674.047

Елена Пинчевская, Василий Борячинский, Юрий Ромасевич

### ОСОБЕННОСТИ КИНЕТИКИ ИНТЕНСИФИЦИРОВАННОЙ СУШКИ ЗАГотовок из ДРЕВЕСИНЫ ДУБА

**Актуальность темы исследования.** Варианты использования являются одним из важных способов представления функциональных требований к проектируемым информационным системам. Их описание – достаточно сложный и трудоёмкий процесс. Поэтому исследования, направленные на автоматизацию этого процесса, являются актуальными.

**Постановка проблеми.** Для автоматизації описання варіантів використання необхідна розробка класифікації і моделювання пунктів сценарієв. В даній роботі вирішується проблема корективної суцесивної класифікації пунктів варіантів використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації по темі застосування варіантів використання. За основу прийнята класифікація, запропонована в роботі «Інформаційна технологія автоматизованого складання варіантів використання».

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Створення моделі для пункту «Завершення прецедента».

**Постановка задачі.** Корективна класифікація пунктів варіантів використання, створення і внесення змін у модель пунктів сценарієв.

**Изложение основного материала.** Предложена усовершенствованная модель описания вариантов использования, отражающая как функциональные требования, так и концептуальные классы проектируемого программного продукта. Классификация пунктов сценария вариантов использования дополнена новым пунктом «Завершить вариант использования». Внесены изменения в ранее предложенные модели и созданы новые модели для пунктов сценария «Создать», «Запросить значение», «Действия пользователя, которые не укладываются в предложенную классификацию». Созданы соответствующие алгоритмы и выполнена модернизация программного продукта, поддерживающего технологию автоматизированного составления вариантов использования.

**Выводы в соответствии со статьёй.** Реализация предложенных моделей и алгоритмов позволила сократить время на описание вариантов использования до 10 %, а также создать модели концептуальных классов для проектируемого программного продукта.

**Ключевые слова:** дуб обыкновенный (*Quercus robur*); дуб красный (*Quercus rubra*); кинетика осциллирующей сушки; рациональные режимы.

Рис.: 5. Табл.: 2. Библ.: 6.

**Пінчевська Олена Олексіївна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів та природокористування України (проул. Сільськогосподарський, 4, м. Київ, 03041, Україна).

**Пинчевская Елена Алексеевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологий и дизайна изделий из древесины, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (проул. Сельскохозяйственный, 4, г. Киев, 03041, Украина).

**Pinchevska Olena** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (4 Sylskogospodarsky Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** olenapinchevska@nubip.edu.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8123-5490>

**Scopus Author ID:** 57156634100

**Борячинський Василь Васильович** – асистент кафедри технологій та дизайну виробів з деревини, Національний університет біоресурсів та природокористування України (проул. Сільськогосподарський, 4, м. Київ, 03041, Україна).

**Борячинский Василий Васильевич** – ассистент кафедры технологий и дизайна изделий из древесины, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (проул. Сельскохозяйственный, 4, г. Киев, 03041, Украина).

**Boriachynskiy Vasyi** – assistant of Department of Technology and Design of Wood Products, National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (4 Sylskogospodarsky Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-1741-2349>

**Ромасевич Юрій Олександрович** – доктор технічних наук, доцент, професор кафедри конструювання машин і обладнання, Національний університет біоресурсів та природокористування України (вул. Героїв Оборони, 12в, м. Київ, 03041, Україна).

**Ромасевич Юрий Александрович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры конструирования машин и оборудования, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Обороны, 12в, г. Киев, 03041, Украина).

**Romasevych Yuriy** – Doctor of Technical Sciences, Docent, Professor of Department of Machines and Equipment Design, National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (12v Geroiv Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5069-5929>

**Scopus Author ID:** 57196472815

*Марина Драпалюк, Владимир Пилипенко*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА КОРРОЗИОСТОЙКОСТЬ БЕТОНА

*Актуальность темы исследования.* При изготовлении сооружений и конструкций специального назначения из бетона необходимо уделять особое внимание снижению проницаемости поверхностного слоя бетона.

*Постановка проблемы.* Работа посвящена решению вопроса повышения эксплуатационных характеристик бетона за счет введения в состав цементной системы активных компонентов, химически взаимодействующих с минералами цемента.

*Анализ последних исследований и публикаций.* Исследования ученых Э. П. Александряна, Р. А. Андрианова, Ю. М. Баженова, В. Е. Басина, А. А. Берлина, С. С. Давыдова, Е. М. Елиина, Ф. М. Иванова и др. внесли большой вклад в разработку и развитие теории создания материалов на основе полимерных связующих, а также способов их модификации.

*Выделение неисследованных частей общей проблемы.* Применение традиционных полимерных композиций, используемых при ремонте бетонных конструкций, непосредственно не контактирующих с грунтовыми водами, не всегда возможно в особых условиях восстановления элементов, подвергаемых обводнению. Сложность состоит в изменении свойств ремонтных смесей при их нагнетании в пустоты, щели и трещины вследствие массо- и теплообмена с заобделочным пространством.

*Постановка задачи.* Необходим поиск новых компонентов смесей, обеспечивающих сохранение технологических характеристик в процессе проведения работ, а также проектные эксплуатационные свойства. Следует уделить внимание изучению закономерностей распространения гидроизолирующего раствора переменной вязкости при устройстве противофильтрационного экрана с учётом сроков потери текучести, а также исследованию прочности и долговечности укрепления в зависимости от среды и температуры.

*Изложение основного материала.* Повысить эксплуатационные характеристики бетона возможно за счет введения в состав цементной системы активных компонентов, химически взаимодействующих с минералами цемента. Для исследований выбраны карбоксилатный дивинилстирольный латекс БСК и диэтиленгликоль.

*Выводы в соответствии со статьей.* При взаимодействии комплексного модификатора (диэтиленгликоляэросила и латекса) с цементными частицами структура и свойства модификатора претерпевают качественные изменения и тем значительнее, чем тоньше пленки модификатора на поверхности или между поверхностями зерен цемента и аэросила и интенсивнее силы поляризации. В связи с этим постепенно уменьшается объем капиллярно-пористого пространства, оцениваемого пористостью и проницаемостью формирующейся цементной матрицы.

*Ключевые слова:* бетон; минералы; полимерные компоненты; проницаемость; цементная матрица.

*Рис.: 1. Библ.: 10.*

**Постановка проблемы.** Строительство гидротехнических сооружений специального назначения, к которым относятся и канализационные коллекторы, и водоводы сельскохозяйственного назначения, в основном ведётся в сильно минерализованных грунтах. Для успешной, с длительным сроком эксплуатации данных изделий большое значение имеет обеспечение коррозионной стойкости используемого бетона.

Из всех видов неметаллических труб самыми экономичными являются бетонные, отличающиеся от асбоцементных экологической чистотой, а в сравнении с железобетонными большей долговечностью, в результате отсутствия подверженной электрохимической коррозии арматурной стали, более плотной упаковки структуры бетонной смеси при уплотнении.

Недостаточный объём производимых и применяемых бетонных труб объясняется тем, что сопротивление бетона растягивающим напряжением незначительно и составляет лишь 9...11 % от прочности бетона при сжатии. Анализ существующих методов модификации и уплотнения бетонной смеси при изготовлении труб, а также многолетние исследования показали, что наиболее эффективным является (перистальтический или импульсный) принцип виброударного уплотнения, обеспечивающий также физическое модифицирование бетонной смеси за счёт отжима избыточной воды затворения.

Решение поставленной проблемы является актуальным при реконструкции промышленного производства Украины.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными, показали принципиальную возможность и эксплуатационную надёжность локального и общего восстановления конструктивных элементов



канализационных коллекторов с применением полимерных связующих определенных видов. Так, работы Э. П. Александрияна, Р. А. Андрианова, Ю. М. Баженова, В. Е. Басина, А. А. Берлина, С. С. Давыдова, Е. М. Елшина, Ф. М. Иванова, Л. А. Иголина, В. В. Козлова, Х. Ф. Ли, Ю. С. Липатова, В. А. Лисенко, В. Г. Микульского, И. А. Мощанского, Д. Мэнсона, С. Ньюмена, А. Пакена, В. В. Патуроева, А. П. Петровой, И. Е. Пугляева, А. Н. Пшинько, И. А. Рыбьева, В. И. Соломатова, Л. Сперлинга, О. Л. Фиговского, А. С. Фрейдина, В. М. Хрулева, К. И. Черняка внесли большой вклад в разработку и развитие теории создания материалов на основе полимерных связующих, а также способов их модификации. По результатам проведенных исследований разработано большое количество полимерных материалов на основе фурановых, фенольных, карбамидных, инденкумароновых, полиэфирных, эпоксидных, полиуретановых смол, полиамидов, полиакрилатов и других органических связующих.

Разработанные за рубежом ремонтные составы преимущественно основаны на использовании акриламида. Наиболее распространенным из них является АМ-9, представляющий собой смесь органических веществ – акриламида и NN-метиленакриламида в виде сухого белого порошка. Японской фирмой «Сумитомо-Кемикел Компани» разработан состав сумисойл, по эффективности аналогичный АМ-9, но отличающийся от него характером действия и применяемым катализатором. Сумисойл приобретает прочность 0,4...0,5 МПа через 40-60 мин, а к 28-суточному возрасту – 10 МПа. Наряду с противофильтрационной защитой, особое значение при проведении ремонтно-восстановительных работ на бетонных трубопроводах имеет гидроизоляция стыков или швов обделки и снижение проницаемости бетона. Критериями выбора гидроизолирующего состава является проницаемость материала конструкции, характеризующая коэффициентом проницаемости или фильтрации, и радиус распространения раствора [1].

Возможность применения полимерных композиций для защиты бетона от грунтовых вод определяется гибкостью технологической схемы, способностью обеспечивать проектные эксплуатационные свойства с долговечностью. Важным свойством при этом считается водорастворимость синтетических смол, что обеспечивает адгезию во влажных условиях и позволяет применять воду в качестве затворителя.

Высокая стоимость некоторых полимерных материалов сдерживает их широкое применение с целью повышения эксплуатационных характеристик бетона сооружений специального назначения.

Применение традиционных полимерных композиций, используемых при ремонте бетонных конструкций, непосредственно не контактирующих с грунтовыми водами, не всегда возможно в особых условиях восстановления элементов, подвергаемых обводнению. Сложность состоит в изменении свойств ремонтных смесей при их нагнетании в пустоты, щели и трещины вследствие массо- и теплообмена с заобделочным пространством.

**Цель статьи.** Таким образом, необходим поиск новых компонентов смесей, обеспечивающих сохранение технологических характеристик в процессе проведения работ, а также проектные эксплуатационные свойства. Из этого сложного комплекса основное внимание следует уделить изучению закономерностей распространения гидроизолирующего раствора переменной вязкости при устройстве противофильтрационного экрана с учётом сроков потери текучести, а также исследованию прочности и долговечности укрепления в зависимости от среды и температуры.

**Основной материал.** При изготовлении бетонных труб специального назначения особое внимание уделяется снижению проницаемости поверхностного слоя бетона. Повысить эксплуатационные характеристики бетона возможно за счет введения в состав цементной системы активных компонентов, химически взаимодействующих с минералами цемента. Для исследований выбраны карбоксилатный дивинилстирольный латекс БСК и диэтиленгликоль.

При взаимодействии комплексного модификатора (диэтиленгликольаэросила и латекса) с цементными частицами структура и свойства модификатора претерпевают качественные изменения и тем значительнее, чем тоньше пленки модификатора на поверхности или между поверхностями зерен цемента и аэросила и интенсивнее силы поляризации.

У заполнителей бетона удельная поверхность невелика и явления, происходящие на поверхности раздела фаз, не оказывают существенного влияния на процесс структурообразования цементной матрицы. В дисперсных системах, например, у цемента или микрозаполнителя, удельная поверхность велика, поэтому представляет интерес исследование влияния дисперсных компонентов на процесс структурообразования модифицированной цементной матрицы бетона.

При взаимодействии молекул модификатора с частицами цемента их поверхность покрывается тонким слоем полимера, который удерживается адсорбционными силами. Источником этих сил являются некомпенсированные связи на поверхности цемента или в межфазном слое. Основой адсорбционных процессов является всеобщий закон, выражающийся в самопроизвольном уменьшении запаса свободной энергии в системе. Стремясь снизить свою поверхностную энергию и нейтрализовать электрический заряд, дисперсная частица цемента притягивает к себе молекулы полимерного модификатора, имеющие дипольную структуру. Под влиянием силового поля, создаваемого активными центрами на поверхности частиц цемента, к которым притягиваются диполи полимера, снижается кинетическая энергия его молекул, что затрудняет их отрыв от минеральных частиц. Поскольку активные центры отделены друг от друга энергетическими барьерами, то для перемещения молекул модификатора в силовом поле поверхности частиц цемента необходимо внешнее тепловое или механическое воздействие.

Молекулы модификатора образуют пленки вокруг частиц цемента. Толщина сольватной оболочки полимера зависит от минералогического состава, размера и формы частиц цемента, а также от внешних условий. Частицы микрозаполнителя практически не обладают активностью по отношению к полимеру, в отличие от частиц цемента, поэтому характер взаимодействия их с диполями полимера различен. При одинаковом минералогическом составе на минеральных частицах большего размера образуется слой полимера большей толщины, чем на частицах меньшего размера. Это явление объясняется тем, что в непосредственной близости от поверхности цементных частиц силовое поле мало зависит от их размера, поэтому степень притяжения примерно одинакова у частиц различной крупности. По мере удаления от поверхности напряжение силового поля изменяется неодинаково – на одном и том же расстоянии от поверхности напряжение меньше у мелких частиц с большей кривизной поверхности, чем у более крупных. В итоге крупные частицы цемента окружены пленками модификатора большей толщины в сравнении с мелкими частицами.

В процессе твердения модифицированной цементной матрицы бетона происходит изменение морфологии продуктов гидратации. В процессе продолжающейся гидратации зерен цемента увеличивается объем кристаллогидратов вследствие химического взаимодействия свободной извести с аэросилом, сопровождающегося образованием дополнительного количества гидросиликатов кальция. В связи с этим постепенно уменьшается объем капиллярно-пористого пространства, оцениваемого пористостью и проницаемостью формирующейся цементной матрицы. Результаты измерения пористости образцов модифицированной цементной матрицы бетона методом ртутной порометрии представлены на рисунке.

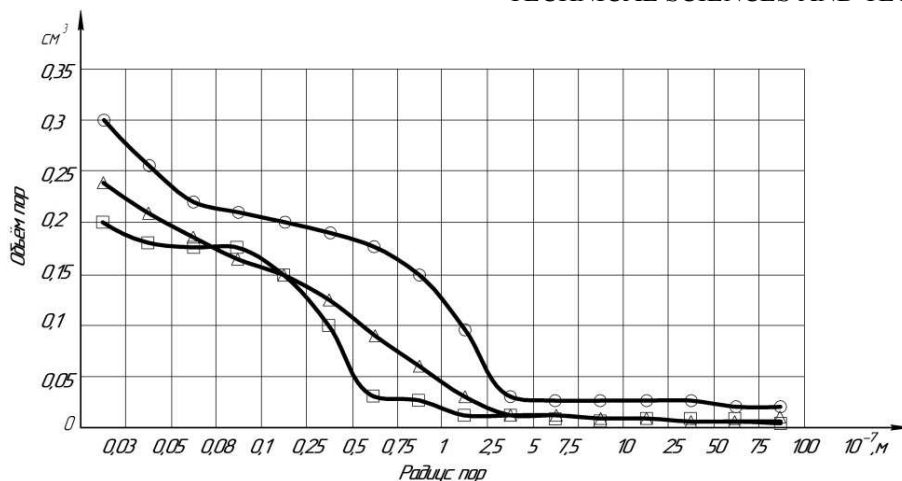


Рис. Интегральная пористость цементной матрицы в возрасте 28 суток:

- – цементный камень;
- – цементная матрица с латексом;
- △ – модифицированная цементная матрица

Ход кривых интегральной пористости (рис.) свидетельствует об уменьшении объема пор при модифицировании цементной матрицы бетона. Распределение пор по размерам показывает, что модифицирование цементной системы приводит не только к уменьшению общего объема пор, но также к изменению объемов пор определенных размеров. В образцах обычного цементного камня бетона значителен объем макропор радиусами  $10^{-6} \dots 10^{-5}$  м и переходных пор радиусами  $10^{-8} \dots 10^{-7}$  м, которые теоретически проницаемы для воды, то есть служат путями фильтрации при эксплуатации сооружения во влажных условиях. При введении латекса в состав бетонной смеси максимум пористости цементной матрицы приходится на поры радиуса  $7 \times 10^{-8}$  м, а при модифицировании ДЭГА –  $2 \times 10^{-8}$  м.

Эксплуатация бетонных труб специального назначения осуществляется в условиях агрессивного воздействия окружающей среды [2]. Для определения влияния различных агрессивных сред на бетон проведены исследования поведения образцов-балочек размерами  $4 \times 4 \times 16$  см при выдерживании в воде и растворе с концентрацией сульфатов 10 г/л. Образцы формовались в один слой.

Установлено, что модифицированная цементная матрица бетона как полностью погруженного в минерализованную воду, так и хранившегося в зоне переменного уровня, представлена следующими гидратными новообразованиями: CSH(B) с дифракционными максимумами 3,02; 2,80;  $1,81 \cdot 10^{-10}$  м; тоберморитоподобными с дифракционными максимумами 3,52; 3,33; 3,02; 2,83; 2,50; 2,42; 2,27; 2,25; 2,14; 2,07; 2,00; 1,84; 1,67;  $1,62 \cdot 10^{-10}$  м; ксонотлитом с дифракционными максимумами 7,02; 4,30; 3,62; 3,25; 2,83; 2,70; 2,50; 2,36; 2,25; 2,04; 1,95;  $1,84; 1,70 \cdot 10^{-10}$  м; C2SH(C) с дифракционными максимумами 5,42; 3,80; 3,02; 2,79; 2,70; 2,56; 2,50; 1,91;  $1,81 \cdot 10^{-10}$  м; C2SH(B) с дифракционными максимумами 4,87; 4,09; 3,55; 3,02; 2,83; 2,79; 2,40; 2,27; 2,07; 1,97; 1,87; 1,81;  $1,77 \cdot 10^{-10}$  м; гидрогранатами с дифракционными максимумами 5,20; 4,50; 3,36; 2,29; 2,04; 1,73; 1,71;  $1,67; 1,59 \cdot 10^{-10}$  м.

Как следует из результатов исследований, в модифицированной цементной матрице бетона с течением времени возрастает количество низкоосновных гидросиликатных фаз, наблюдается перекристаллизация гидрогранатов в низкоосновные гидросиликаты кальция. В новообразованиях модифицированной цементной матрицы бетона содержание свободного гидроксида кальция не превышает 5 %, что является необходимым условием для получения коррозионностойкого материала.

**Выводы в соответствии со статьей.**

1. Установлено, что в модифицированной цементной матрице бетона с течением времени возрастает количество низкоосновных гидросиликатных фаз, наблюдается перекристаллизация гидрогранатов в низкоосновные гидросиликаты кальция.

2. Выявлено, что уменьшается также и объем капиллярно-пористого пространства, оцениваемого пористостью и проницаемостью формирующейся цементной матрицы.

**Список использованных источников**

1. Богданов В. С. Дисперсность и электрические свойства аэрозолей, возникающих при радиоллизе газообразных углеводородов / В. С. Богданов // Изв. АН СССР. ОХН. – 1981. – № 8. – С. 1520–1522.
2. Соломатов В. И. Композиционные строительные материалы пониженной материалоемкости / В. И. Соломатов, В. Я. Выровой. – К. : Будівельник, 1991. – 144 с.
3. Соломатов В. И. Полимерные композиционные материалы в строительстве / В. И. Соломатов, А. Н. Бобрышев, К. Г. Химмлер ; под ред. В. И. Соломатова. – М. : Стройиздат, 1988. – 312 с.
4. Sakai E. Composite Mechanism of Polymer Modified Cement / E. Sakai, J. Sugita // Cem. Concr. Res. – 1995. – Vol. 29. – Pp. 127–135.
5. Павлов А. Р. Математическое моделирование процессов тепло- массопереноса и температурных деформаций в строительных материалах / А. Р. Павлов. – Новосибирск : Наука, 2001. – 175 с.
6. Кирнев А. Д. Технология возведения зданий и специальных сооружений / А. Д. Кирнев, А. И. Суботин, С. И. Евтушенко. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2005. – 247 с.
7. Батраков В. Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. М.: Стройиздат, 1998. – 768 с.
8. Mitsuda I. Paragenesis of  $11\text{\AA}$  – Tobermorite and poorly crystalline hydrated magnesium silicate // Cemend and Concr. Res. – 1993. – Vol. 3. – Pp. 71–80.
9. Драпалюк М. В. Дослідження ресурсозберігаючої технології модифікованого бетону з демпфуючими компонентами / М. В. Драпалюк, В. М. Пилипенко // Нові технології в будівництві. – 2016. – № 30. – С. 50–53.
10. Roy D. M. Advanced Cement Systems Including CBS, DSP, MDF / D. M. Roy // 9-th ICCS. – 1992. – Vol. 1. – Pp. 357–380.

**References**

1. Bogdanov, V. S. (1981). Disperstnost i elektriceskie svoystva aerosoley, vosnikauchie pri radiosolize gazoobraznuh uglevodorodov [Dispersion and electrical properties of aerosols arising from the radiolysis of gaseous hydrocarbons]. *An SSSR. OHN.*, 8, 1520–1522 [in English].
2. Solomatov, V. I. & Wurovoy, V. Ya (1991). *Kompozicionnue stroitelnye materialu ponigenoy materialoemkosti* [Composite building materials of reduced material consumption]. Kyiv: Budiwelnik [in Ukrainian].
3. Solomatov, V. I., Bobrushev, A. N. & Himler, K. G. (1988). *Polimernye kompozitsionnye materialy v stroitelstve* [Polymer composite materials in construction] [in Russian].
4. Sakai, E. & Sugita, J. (1995). *Composite Mechanism of Polymer Modified Cement*. *Cem. Concr. Res.*, 29, 127–135 [in English].
5. Pavlov, A. R. (2001). *Matematicheskoe modelirovanie protsessov teplo- massoperenosa i temperaturnykh deformatsiy v stroitelnykh materialakh* [Mathematical modeling of heat and mass transfer processes and temperature deformations in building materials]. Novosibirsk: Nauka [in Russian].
6. Kirnev, A. D., Subotin, A. I. & Evtushenko, S. I. (2005). *Technologia vozvedenia zdaniy i specialnuh soorugeniy* [Technology of erection of buildings and special constructions]. Rostov-na-Dony: Fenics [in Russian].
7. Batracov, V. G. (1998). *Modificirovannue betonu. Teoria i practica* [Modified concrete. Theory and practice]. Moscow: Stroisdat [in Russian].
8. Mitsuda, I. (1993). Paragenesis of  $11\text{\AA}$  - Tobermorite and poorly crystalline hydrated magnesium silicate. *Cemend and Concr. Res.*, 3, 71–80 [in English].

9. Drapaluk, M. V. & Pulupenko, V. M. (2016). Doslidzhennia resursozberihaiuchoi tekhnolohii modyfikovanoho betonu z dympfuiuchymy komponentamy [Research of resource-saving technology of modified concrete with dipping components]. *Novi tehnologii v budivnuctvi*, 30, 50–53 [in Ukrainian].

10. Roy, D. M. (1992). Advanced Cement Systems Including CBS, DSP, MDF. *9-th ICC*, 1, 357–380 [in English].

UDC 338.45:624

*Marina Drapaluk, Volodymyr Pylypenko*

## INVESTIGATION OF THE IMPACT OF POLYMER COMPONENTS OF CONCRETE ON CORROSION RESISTANCE

**Urgency of the research.** In the manufacture of structures and structures of special purpose from concrete it is necessary to pay special attention to reducing the permeability of the surface layer of concrete.

**Target setting.** The work is devoted to solving the problem of increasing the operational characteristics of concrete by introducing into the cement system active components that chemically interact with the minerals of cement.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Research scientists E. P. Alexandryan, R. A. Andrianova, Yu. M. Bazhenova, V. E. Basina, A. A. Berlin, S. S. Davydova, E. M. Elshina, F. M. Ivanova and others have made a great contribution to the development and development of the theory of creating materials based on polymeric binders, as well as methods for their modification.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The use of traditional polymer compositions used in the repair of concrete structures not directly in contact with groundwater is not always possible under special conditions for the restoration of elements subject to watering. The difficulty consists in changing the properties of repair mixtures when they are injected into voids, cracks and fissures due to mass and heat transfer with confinement space.

**The research objective.** It is necessary to search for new components of mixtures that ensure the preservation of technological characteristics in the course of work, as well as design operational properties. Attention should be paid to studying the regularities of the distribution of a waterproofing solution of variable viscosity with the device of an anti-filtration screen, taking into account the periods of loss of fluidity, and also the study of the strength and longevity of the strengthening, depending on the medium and temperature.

**The statement of basic materials.** Increase the performance of concrete is possible due to the introduction of the cement system of the active components, chemically interacting with the minerals of cement. For the studies, carboxylate divinyl styrene latex BSK and diethylene glycol were chosen.

**Conclusions.** When the complex modifier (diethylene glycol aero-silane and latex) interacts with cement particles, the structure and properties of the modifier undergo qualitative changes and the more significant the thinner the modifier films on the surface or between the surfaces of the cement and aerosil grains and the intensity of the polarization force. In connection with this, the volume of capillary-porous space that is estimated by the porosity and permeability of the forming cement matrix is gradually decreasing.

**Keywords:** concrete; minerals; polymer components; permeability; cement matrix.

Fig.: 1. References: 10.

УДК 338.45:624

*Марина Драпалюк, Володимир Пилипенко*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОНЕНТІВ НА СТІЙКІСТЬ ДО КОРОЗІЇ БЕТОНУ

**Актуальність теми дослідження.** При виготовленні споруд і конструкцій спеціального призначення з бетону необхідно приділяти особливу увагу зниженню проникності поверхневого шару бетону.

**Постановка проблеми.** Робота присвячена вирішенню питання підвищення експлуатаційних характеристик бетону за рахунок введення до складу цементної системи активних компонентів, що хімічно взаємодіють з мінералами цементу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження вчених Е. П. Александряна, Р. А. Андріанова, Ю. М. Баженова, В. Є. Басина, А. А. Берліна, С. С. Давидова, Е. М. Єлишин, Ф. М. Іванова та ін. зробили великий внесок у розробку й розвиток теорії створення матеріалів на основі полімерних сполучних, а також способів їх модифікації.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Застосування традиційних полімерних композицій, використовуваних при ремонті бетонних конструкцій, які безпосередньо не контактують з ґрунтовими водами, не завжди можливе в особливих умовах відновлення елементів, що піддаються обводнення. Складність полягає в зміні властивостей ремонтних сумішей при їх нагнітанні в порожнечі, щільни й тріщини внаслідок масо- і теплообміну з заобделочном простором.

**Постановка завдання.** Необхідний пошук нових компонентів сумішей, що забезпечують збереження технологічних характеристик у процесі проведення робіт, а також проектні експлуатаційні властивості. Слід приділити увагу вивченню закономірностей поширення гідроізоляційного розчину змінної в'язкості при влаштуванні проти фільтраційного екрана з урахуванням строків втрати плинності, а також дослідженню міцності й довговічності зміцнення в залежності від середовища і температури.

**Виклад основного матеріалу.** Підвищити експлуатаційні характеристики бетону можливо за рахунок введення до складу цементної системи активних компонентів, хімічно взаємодіють з мінералами цементу. Для досліджень обрано Карбоксилатний дівінілстирольний латекс БСК і діетиленгліколь.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Висновки відповідно до статті.** При взаємодії комплексного модифікатора (діетиленглікольаеросіла й латексу) з цементними частками структура і властивості модифікатора зазнають якісні зміни і тим значніше, чим тонше плівки модифікатора на поверхні або між поверхнями зерен цементу й аеросилу та інтенсивніше сили поляризації. У зв'язку з цим поступово зменшується обсяг капілярно-пористого простору, що оцінюється пористістю і проникністю формується цементної матриці.

**Ключові слова:** бетон; мінерали; полімерні компоненти; проникність; цементна матриця.

*Рис.: 1. Бібл.: 10.*

**Драпалюк Марина Викторовна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительных конструкций, Одесская государственная академия строительства и архитектуры (ул. Дидрихсона, 4, г. Одесса, 65000, Украина).

**Драпалюк Марина Вікторівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельних конструкцій, Одеська державна академія будівництва і архітектури (вул. Дидрихсона, 4, м. Одеса, 65000, Україна).

**Drapaluk Marina** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Building Constructions, Odessa Academy of Civil Engineering and Architecture (4 Didrihsona Str., 65000 Odessa. Ukraine).

**Пилипенко Владимир Николаевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физической подготовки, Академия государственной пенитенциарной службы (ул. Гончая, 34, г. Чернигов, 14000, Украина).

**Пилипенко Володимир Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри фізичної підготовки, Академія державної пенітенціарної служби (вул. Гонча, 34, м. Чернігів, 14000, Україна).

**Pylupenko Volodymyr** – PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of Physical Training Department, Academy of State Penitentiary Service (34 Goncha Str., 14000 Chernihiv, Ukraine).

УДК 528.3

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-239-251

Сергій Крячок

**ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АЕРОПОРТІВ**

*Актуальність теми дослідження.* В Україні прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року. Метою Програми є задоволення потреб держави у забезпеченні стабільного розвитку авіаційної галузі, узгодження інфраструктури авіаційного транспорту з міжнародними стандартами.

*Постановка проблеми.* Для досягнення мети пропонується провести будівництво, реконструкцію та модернізацію аеродромів та аеродромних об'єктів; об'єктів інфраструктури.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені висвітленню геодезичного забезпечення аеропортів.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* У наведених роботах неповною мірою розглянуто застосування найсучасніших технологій для всього комплексу геодезичного забезпечення аеропортів.

*Постановка завдання.* Головною метою цієї роботи є огляд сучасного стану всього комплексу топографо-геодезичного забезпечення аеропортів в Україні – від вишукувань до ремонту та реконструкції.

*Виклад основного матеріалу.* Розглянуто особливості топографо-геодезичного забезпечення проектування, будівництва, експлуатації, ремонту та реконструкції аеропортів в Україні.

*Висновки відповідно до статті.* Необхідно впроваджувати у практику топографо-геодезичних робіт для потреб аеропортів в Україні передові технології: аерознімання з використанням безпілотних літальних апаратів; лідарного знімання висотних перешкод; лазерного сканування споруд аеропорту; роботизованих комплексів на основі електронних тахеометрів та комп'ютерного опрацювання даних.

*Ключові слова:* електронний тахеометр; безпілотний літальний апарат; лідар; лазерне сканування.

*Рис.:* 12. *Бібл.:* 18.

**Актуальність теми дослідження.** В Україні, згідно з постановою Кабінету Міністрів від 24 лютого 2016 р. № 126, було прийнято Державну цільову програму розвитку аеропортів на період до 2023 року [1]. Метою Програми є задоволення потреб держави в забезпеченні стабільного розвитку авіаційної галузі, узгодження інфраструктури авіаційного транспорту з міжнародними стандартами, забезпечення набуття Україною статусу транзитної держави з урахуванням її унікального географічного розташування, підвищення ефективності управління державним майном [1].

**Постановка проблеми.** У вищезазначеній постанові для досягнення мети пропонується забезпечити будівництво, реконструкцію та модернізацію: аеродромів та аеродромних об'єктів; об'єктів інфраструктури аеропортів (пасажирські та вантажні термінальні комплекси, цехи бортового харчування, об'єктів забезпечення авіаційним паливом); об'єктів наземної інфраструктури (ангарні комплекси, авіаційно-технічні бази, навчально-тренажерні центри, профілакторії, адміністративні будівлі, складські об'єкти) [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існують публікації, які висвітлюють окремі напрямки сучасного стану топографо-геодезичного забезпечення аеропортів. Так робота [2] присвячена впровадженню Світової геодезичної системи WGS-84 в аеропортах України. Проблеми геодезичного контролю положення висотних об'єктів на аеродромах та приаеродромних територіях наведені в публікаціях [3; 4]. Більш повно розглянуті топографо-геодезичні роботи в статті [5]. Тут наведено комплекс робіт – від вишукувань до утилізації споруд та покриття аеропорту.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У наведених роботах неповною мірою розглянуто застосування найсучасніших технологій для всього комплексу топографо-геодезичного забезпечення аеропортів.

**Постановка завдання.** Головною метою цієї роботи є огляд сучасного стану топографо-геодезичного забезпечення вишукування, проектування, будівництва, експлуатації, ремонту та реконструкції аеропортів в Україні.

**Виклад основного матеріалу.** Аеропорт має свої стадії життєдіяльності: вишукування та проектування, будівництво, експлуатація, ремонт і реконструкція. На кожному з цих етапів виконуються відповідні топографо-геодезичні роботи.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Згідно з [6] аеропорт – комплекс споруд, що призначений для приймання, відправлення повітряних суден, обслуговування повітряних перевезень, проведення робіт з технічного обслуговування і має для таких цілей аеродром, аеровокзал, інші наземні споруди та необхідне обладнання (рис. 1).

Основною частиною аеропорту є аеродром – визначена ділянка земної, водної поверхні, включаючи будь-які будівлі, споруди й обладнання, призначена повністю чи частково для вильоту, прибуття, стоянки та руху по такій поверхні повітряних суден (позиції 1–7 на рис. 1) [6].



*Рис. 1. Варіант генерального плану аеропорту:*

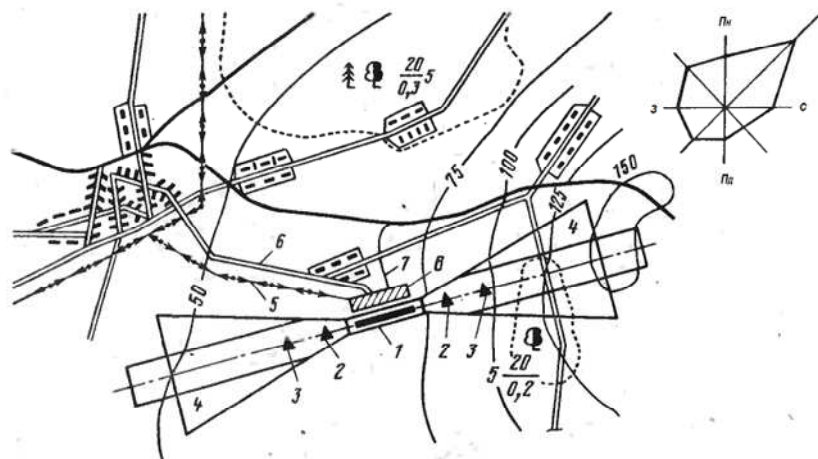
- 1 – злітно-посадкова смуга (ЗПС) зі штучним покриттям; 2 – бічні ґрунтові зони,  
3 – кінцеві смуги безпеки, які забезпечують повітряне судно (ПС) у разі викочування його за межі ЗПС; 4 – магістральні руліжні доріжки (МРД) для ПС; 5 – з'єднувальні руліжні доріжки (ЗРД); 6 – перон; 7 – VIP-перон; 8 – термінал бізнес-авіації; 9 – командно-диспетчерський пункт (КДП) для керування польотами ПС; 10 – аварійно-рятувальна станція; 11 – вантажний термінал для зберігання вантажу і пошти; 12 – митниця; 13 – котельня; 14 – готельно-офісна зона; 15 – стоянка автотранспорту; 16 – логістичний комплекс; 17 – паливозаправний комплекс; 18 – під'їзна автомобільна дорога; 19 – під'їзна залізниця для вантажних перевезень

Іншою частиною аеропорту є службово-технічна територія (СТТ), на якій розміщені будинки та споруди для проведення технологічних операцій з обслуговування пасажирів, переробки вантажів, технічного обслуговування повітряних суден (ПС) і внутрішньої господарської діяльності аеропорту (позиції 8–17 на рис. 1) [6].

До торців аеродрому прилягає смуга повітряних підходів (рис. 2) – ділянка приаеродромної території встановлених розмірів, над якою повітряні судна здійснюють початковий етап набирання висоти під час зльоту та кінцевий етап зниження під час заходу на посадку [6].

Навколо аеропорту розташована приаеродромна територія – обмежена регламентованими розмірами місцевість, до якої встановлено спеціальні вимоги щодо розташування різних об'єктів, висота яких контролюється з урахуванням умов безпеки маневрування, зльоту та заходу на посадку повітряних суден [6]. На цій території знаходяться також відокремлені споруди, комунікації та устаткування, які умовно відносяться до аеродрому (світлотехнічні та радіотехнічні засоби, перевалочний склад паливно-мастильних матеріалів тощо) [7].





*Рис. 2. Ситуаційний план аеропорту:*

- 1 – аеродром; 2 – ближня привідна радіостанція і маркерний радіомаяк (БІРМ),  
 3 – дальня привідна радіостанція і маркерний радіомаяк (ДІРМ) –призначені  
 для радіонаведення ПС на вісь ЗПС; 4 – смуга повітряних підходів;  
 5 – лінія електропередачі (ЛЕП); 6 – під'їзна автомобільна дорога;  
 7 – під'їзна залізниця; 8 – ділянка службово-технічної території (СТТ)

Повітряний простір над аеродромом та прилеглою до нього місцевістю з установленними розмірами в плані та по висоті, в якому відбувається маневрування ПС для заходу на посадку, набору висоти для зльоту, виходу на друге коло, у зони очікування, вихідні коридори і т. ін. – є районом аеродрому [7].

На етапі виконання передпроектних робіт для будівництва нового аеродрому завдання вишукувань зводиться до пошуку найбільш вигідного місця розташування аеродрому в заданому районі будівництва, яке б забезпечувало максимальні зручності зон повітряних підходів, розташування ЗПС та інших споруд для мінімальних обсягів робіт з будівництва та експлуатації. Для цього виконують комплекс геодезичних і інженерно-геологічних робіт, у результаті яких отримують вихідні дані для складання проекту нового летовища або реконструкції наявного.

Проектування аеродромів виконується в дві стадії: технічний проект і робочі креслення. Вишукування аеродромів залежно від етапу проектних робіт також поділяються на стадії: попередні вишукування (як правило, зйомка масштабу 1:5000) і вишукування вже безпосередньо для виконання проектних рішень (зйомка масштабів 1:2000, 1:1000, 1:500) [8].

Головним завданням інженерних вишукувань є вивчення природних і техногенних умов будівництва, освоєння території для складання повної і достовірної ситуації, що забезпечує якісне проектування і розробку необхідних рекомендацій для підрядної будівельної організації. Ядром комплексу інженерних вишукувань є топографо-геодезичні роботи, у результаті яких виконується збір просторової інформації про кількісні та якісні характеристики місцевості.

Поряд з топографо-геодезичними роботами до складу комплексних інженерних вишукувань входять: інженерно-геологічні, геофізичні, гідрологічні, метеорологічні, екологічні та ін. [9]. Вихідними даними цієї частини вишукувань є якісні характеристики території, яка підлягає подальшому перетворенню, які, у свою чергу, вимагають просторово координатної прив'язки. Це завдання вирішується в процесі топографо-геодезичних вишукувань. На етапі виконання передпроектних рішень виконується цілий комплекс топографо-геодезичних робіт, таких як:

- повітряне і наземне рекогносцювання району виконання робіт;
- розвиток планово-висотної основи (разом із закріпленням будівельної сітки);
- геометричне нівелювання по квадратах території майбутнього аеродрому;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- великомасштабна зйомка (1:500, 1:1000,) передбачуваної ділянки СТТ, розташування всього комплексу будівель і споруд аеропорту, включаючи підземні споруди й комунікації;
- зйомка території майбутнього аеродрому в масштабах 1:2000;
- виконання спеціальних геодезичних спостережень і закріплення окремих точок на місцевості;
- землевпорядні та кадастрові роботи.

За традиційною схемою програма проведення топографо-геодезичних вишукувань включає в себе створення мережі згущення, що спирається на пункти Державної геодезичної мережі, як мережі першого порядку, на яку повинна спиратися мережа знімальної основи, а з пунктів останньої проводиться топографічна зйомка місцевості. Мережі згущення будуються методами полігонометрії 4-го класу, 1-го або 2-го розряду, а мережі знімальної основи створюються шляхом прокладання теодолітних або тахеометрических ходів.

За зрівноваженими даними проводиться перенесення знімальних точок для створення ситуаційної частини топографічного плану.

У процесі топографічної зйомки використовуються електронні тахеометри. Це є вигідним для подальшої обробки результатів польових вимірювань, оскільки при зчитуванні інформації з накопичувача тахеометра, крім трьох координат, знімальній точці присвоюється належність до будь-якого об'єкта, який відповідає певному умовному знаку на топографічному плані. Максимальна ефективність може бути досягнута шляхом вибору відповідного програмного забезпечення, що дозволяє створювати топографічний план в умовних знаках по «сирих» даних, принесених виконавцем безпосередньо з поля.

Наступний крок у процесі обробки польових вимірювань – побудова цифрової моделі рельєфу і ситуаційного плану.

Для створення топографічних планів території аеропорту нині використовуються аерознімання з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) (рис. 3) [10].

*а**б*

*Рис. 3. Аерофотозйомка з БПЛА*

*а – БПЛА на маршруті; б – аерофотознімок з БПЛА*

Після опрацювання результатів аерофотознімання отримують ортофотоплани, цифрові моделі місцевості та кінцеві продукти – топографічні плани місцевості (рис. 4).

Для проектування необхідно також надати інформацію і про геологічну будову території аеропорту за даними інженерно-геологічних вишукувань. Для цього використовують результати опису геологічних виробок – свердловин і шурфів. Горловини цих виробок координуються у плані та по висоті від пунктів геодезичної основи.



а

б

Рис. 4. Моделі місцевості:

а – ортофотоплан з горизонталями; б – топографічний план місцевості

Наступним етапом є розробка генерального плану аеропорту. Генеральний план аеропорту проектується на основі ситуаційного плану місцевості з метою забезпечення зручного транспортного зв'язку між містом і аеропортом, трасування під'їзної автомобільної та залізничної доріг і основних інженерних комунікацій, і повинен відображати розвиток аеропорту на перспективу з виділенням першої черги будівництва.

На генеральному плані аеропорту передбачається функціональне зонування території з урахуванням спеціалізації будівель і споруд, технологічних і транспортних зв'язків між ними, безпечного маневрування повітряних суден, архітектурно-планувальних вимог, а також вимог санітарно-гігієнічних, пожежної безпеки і черговості будівництва; забезпечення благоустрою ділянки забудови й допустимого рівня шуму, емісії авіаційних двигунів та ризику авіаційних подій; розміщення систем управління повітряним рухом, радіонавігації та посадки з урахуванням безпеки персоналу і місцевого населення від впливу надвисокочастотного опромінення [6].

При проектуванні генеральних планів аеропортів архітектурно-планувальні рішення СТТ повинні передбачати можливість роботи як однієї, так і декількох ЗПС, а також розташування будівель і споруд з метою забезпечення компактності забудови, скорочення інженерних і транспортних комунікацій, що дозволить знизити експлуатаційні та будівельні витрати.

Рельєф на території аеродрому згідно з проектом описується такими характеристиками, як поздовжній і поперечний ухили. Тому до складу геодезичного супроводу під час будівництва аеродрому входить винесення на місцевість проектних відміток та ухилів від пунктів будівельної сітки під час перетворення рельєфу території аеропорту – згідно з проектом вертикального упорядкування (рис. 5). Роботи виконуються за технологією і точністю технічного нівелювання.

Під час геодезичного забезпечення будівництва основних елементів льотного поля виконуються набір операцій з винесення об'єктів на місцевість, аналогічній технології будівництва доріг. Тому і будівництвом подібного типу конструкцій займаються, як правило, дорожньо-будівельні організації, що мають у своїй штатній структурі відповідне устаткування та геодезиста з усім необхідним набором інструментів. Геодезист безперервно забезпечує роботу будівельників. Обчислення проводяться прямо на робочому місці за допомогою калькулятора, або використання спеціалізованих програмних продуктів. Наприклад, програмний продукт CREDO ГЕНПЛАН дозволяє заощадити не тільки час на обробку польових вимірювань, але й здійснювати безперервний контроль товщини окремих шарів при укладанні бетону, що, у свою чергу, приводить до економії коштів і часу [5].



а



б

*Рис. 5. Земляні роботи на території аеропорту:*

*а – формування рельєфу згідно з проектом вертикального упорядкування;*

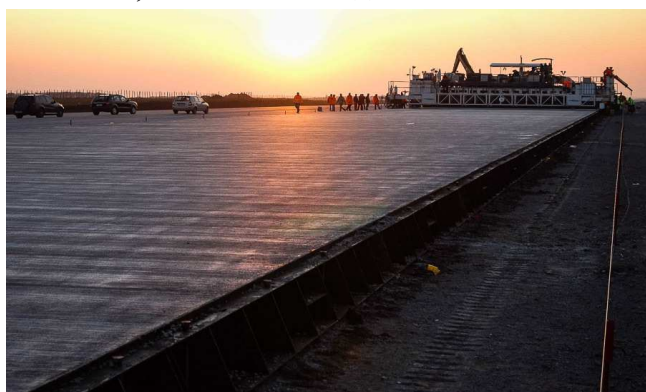
*б – винесення на місцевість проектних відміток*

Конструкція штучних покриттів має вигляд «листяного пирога». Укладання окремих шарів вимагає виконання геодезистом технічного нівелювання, яке здійснюється від точок закріплення будівельної сітки. При влаштуванні окремих шарів конструкції ЗПС, МРД, ЗРД використовуються сучасні бетоноукладочні машини (рис. 6, а), умова роботи яких забезпечується і геодезичними даними.

Принцип роботи полягає в наступному. Геодезист виставляє віхи і натягує струну точно за відмітками, зазначеними у проекті. Струни натягуються з двох сторін майбутнього штучного покриття. За допомогою датчиків, розташованих на бетоноукладочній машині, чутливий елемент регулює висоту укладання бетону.

У разі правильного виконання всіх операцій досягається точність близько 1-2 мм [5]. Після того як бетон застиг, виконується контрольна зйомка поверхні бетону. Якщо окрема плита не має потрібного ухилу або відрізняється від тих вимог, які закладені в проекті, вона просто вирізується (рис. 6, б), виноситься і заливається знову.

Точність укладання арматури, що знаходиться всередині бетону, визначається відповідними нормативними документами і досягає 1-2 см у поздовжньому й поперечному напрямках. Нарізка технологічних і термошвів виконується з винесених у натуру проектних точок, зазначених геодезистом.



а



б

*Рис. 6. Роботи з будівництва штучних покриттів аеродрому:*

*а - укладання бетону; б - нарізання температурних швів (або вирізання бракованих плит)*

Контроль, перевірка ухилів поверхонь, товщини шарів здійснюються всілякими способами, не тільки з використанням нівелірів і електронних тахеометрів, але і промірами за допомогою рулетки.

Процес послідовності будівництва окремих будівель і споруд аеропорту та комплекс геодезичного забезпечення є традиційним для будівництва (рис. 7).



Рис. 7. Етапи будівництва споруд аеродрому:

*а* – облаштування котловану для терміналу; *б* – спорудження будівлі терміналу

Геодезичні роботи полягають у винесенні на місцевість основних та головних осей споруд, розмічування крайок котлованів та передача відміток на їх дно, контроль у плані та по висоті спорудження фахверку, детальні розпланувальні роботи, передача відміток та координат на монтажні горизонти, вивірка вертикальності колон, виконавче знімання.

Супровід будівництва ведеться на кожному етапі установки всіх елементів, починаючи з підземних комунікацій. Зокрема, при закладці в трубах електричних кабелів, геодезистом фіксується їх розташування, глибина закладки, напруга, переріз. На підставі виконаних вимірів створюються карти підземних комунікацій. Усі колектори, системи дренажу (рис. 8, *а*), які закладаються уздовж аеродрому, ЗПС, мають конкретні проміри в плані та по висоті, оскільки стан ґрунту під ЗПС строго контролюється.



Рис. 8. Прокладання підземних комунікацій:

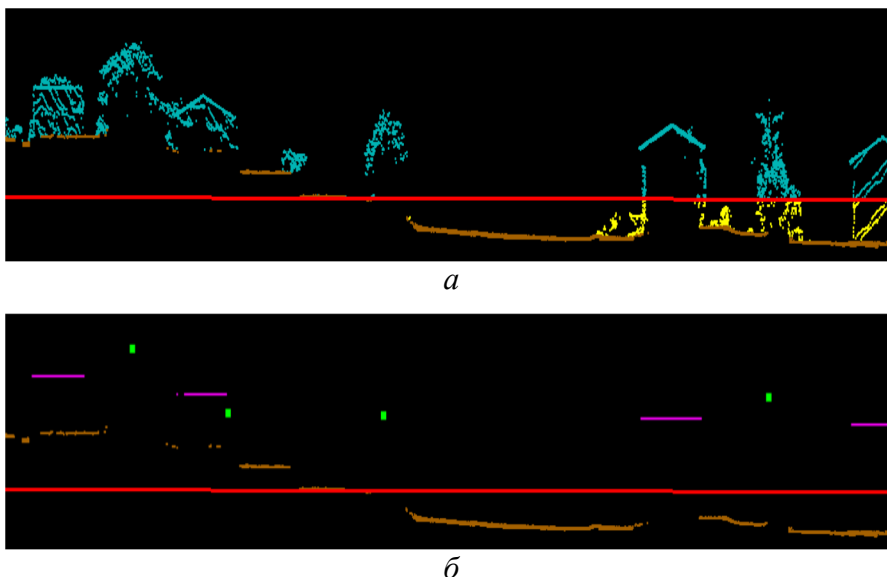
*а* - укладання колектору системи дренажу; *б* – встановлення ліхтарів ССО

Установка світлосигнального обладнання (ССО) на бетонному покритті проводиться до заливки верхнього шару бетону. У цьому випадку геодезист, згідно з проектним рішенням, вказує місце розташування ліхтарів ССО і здійснює контроль підводки каналів кабелів до цього пункту (рис. 8, *б*). Після укладання бетону за відомими координатами виконується свердління отворів для ліхтарів ССО.

Усі роботи під час будівництва ведуться під постійним контролем інженера-геодезиста, який забезпечує геометричні параметри території аеропорту згідно з проектною документацією та підписує відповідні контрольно-вимірювальні документи.

У процесі експлуатації аеродрому геодезичні роботи менш інтенсивні. Геодезичний супровід полягає в періодичному визначенні для експлуатаційних служб необхідну інформацію з оцінки нерівностей поверхні аеродромних покриттів, про навантаження і несучу здатність поверхонь, визначаються висоти аеронавігаційних орієнтирів і перешкод на льотному полі та приаеродромній території.

Традиційно висоти аеронавігаційних орієнтирів і перешкод визначаються методом тригонометричного нівелювання з пунктів геодезичної основи. Нині для цього може бути використана високотехнологічна методика лідарного знімання (рис. 9) [11].



*Рис. 9. Лідарне знімання висотних перешкод:  
а – знімання перешкод; б – визначення місцевих максимуми  
як найвищих точок об'єктів (перешкод)*

У процесі експлуатації покриттів конструкцій аеродрому здійснюються фізичне, температурне і хімічне впливу, внаслідок чого відбувається переміщення плит покриттів і їх корозія. Для вимірювання нерівностей поверхні покриттів застосовують високоточні нівеліри і спеціальні шкалові лінійки з міліметровою шкалою. Для оцінки рівності поверхні ШЗПС виконується короткокрокове нівелювання поперечників (з кроком 5 м) [12]. Крім того, виконуються оцінювання геометричних характеристик мікрорельєфу покриттів: ухилів та їх різниць на певній лінійної базі, просвітів під триметровою рейкою і їх розподілу в заданих діапазонах, уступів між плитами та порівняння їх значень з нормативними даними. Наявність такої інформації дозволяє виявити ділянки штучного покриття ЗПС з незадовільною рівністю та дефектами і своєчасно включити їх у плани поточного або капітального ремонту.

З метою оцінки фактичної несучої здатності штучних покриттів аеродрому виконуються їх натурні випробування статичним навантаженням розрахунковим типом повітряного судна виміром пружних прогинів.

Вимірювання вертикальних переміщень конструкцій покриттів виконуються з використанням прецизійних нівелірів і спеціальних шкальних лінійок [5]. За результатами виконаних випробувань встановлюється допустиме навантаження на стандартну опору повітряного судна і відповідне їй значення класифікаційного числа покриття PCN – нормативний параметр Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО), яке виражає несучу спроможність штучного покриття ЗПС [13].

Перевірка відповідності характеристик льотного поля і приаеродромної території вимогам законодавства України про цивільну авіацію дозволяє отримати або підтвердити Сертифікат відповідності аеродрому [14].

Важливим елементом геодезичного забезпечення експлуатації аеродромів є спостереження за деформаціями та осіданням його споруд. Для цього проводиться високоточне геометричне нівелювання осадкових марок, закріплених на спорудах аеропорту.

Для спостереження за осіданнями та деформаціями споруд аеропорту в реальному часі нині є ефективним використання роботизованих комплексів на основі електронних тахеометрів та комп'ютерного опрацювання даних (рис. 10).



Рис. 10. Спостереження за креном та деформаціями споруд аеропорту:  
а – КДП аеропорту; б – вежа з електронним тахеометром усередині

Серед робіт також слід відзначити підготовку правовстановлюючих документів на земельні ділянки аеропорту і постановку їх на кадастровий облік, створення електронного плану аеропорту для диспетчеризації повітряних суден і транспортних потоків на території аеропорту, розробку тривимірної моделі приаеродромної території для управління повітряним рухом, розрахунок схем маневрування ПС, екологічну оцінку впливу авіації на навколишнє середовище, створення банку геопросторових даних та геоінформаційної системи аеропорту (ГІС) [5].

Надання просторово-орієнтованих даних для системи раннього попередження близькості землі (рис. 11) [15].

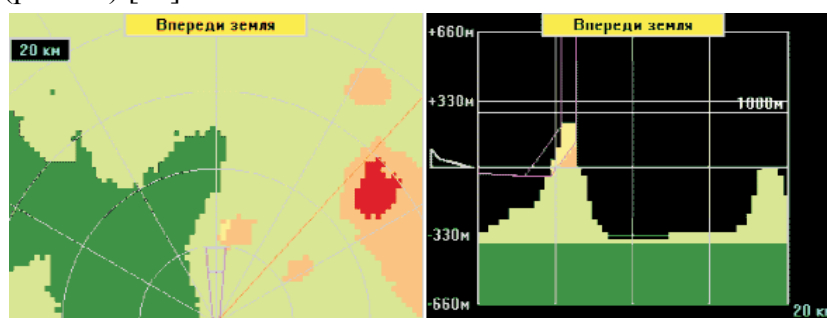


Рис. 11. Відображення інформації на моніторі системи раннього попередження близькості землі

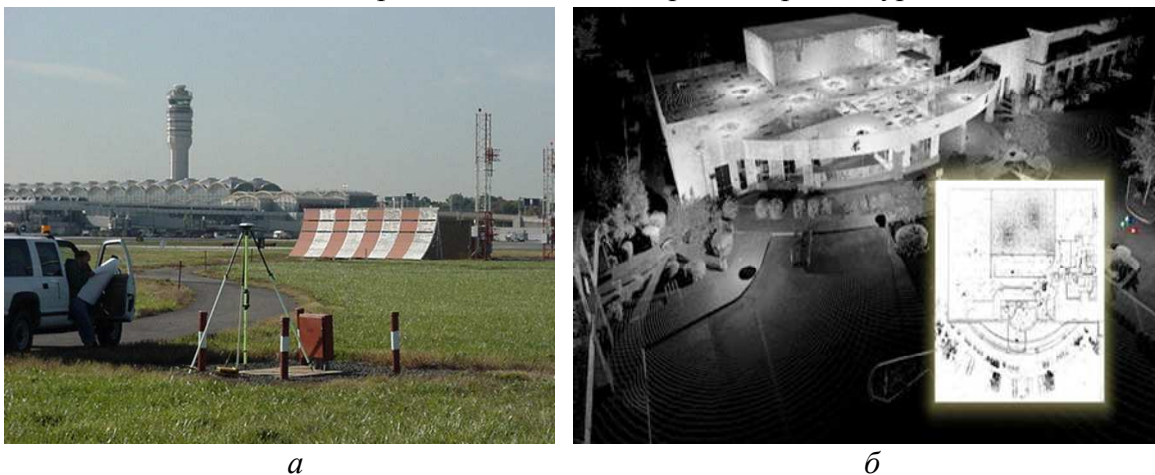
Для реалізації концепції безпеки польотів та інтегрування авіаліній України у Світовий простір необхідне переведення навігаційного забезпечення аеродрому на сучасний рівень, відповідно до наказу Міністерства інфраструктури України [16] і рекомендаціям ІКАО [17]. Це вимагає проведення геодезичної зйомки аеронавігаційних орієнтирів у Всесвітній геодезичній системі координат WGS-84 з використанням GPS-технологій (рис. 12, а). У вертикальній площині для цілей аеронавігації як система від-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ліку використовується прийнятий за базу середній рівень моря (MSL). На додаток до значень перевищення відносно MSL (геоїда) конкретних знімальних наземних позицій для цих же позицій додається інформація про хвилю геоїда (положення геоїда відносно поверхні еліпсоїда WGS-84) для території аеродрому [18]. Для визначення положення геоїда на території аеродрому виконуються гравіметричні вимірювання.

Ремонт і реконструкція, як правило, проходять під час роботи аеродрому. Тому особливістю виконання топографо-геодезичних робіт на цьому етапі є фактор діючого підприємства: топогеодезичні роботи можуть виконуватися тільки під час відсутності польотів – найчастіше короткочасними періодами і на обмежених ділянках.

У процесі виконання поточного ремонту окремих елементів покриттів або комунікацій проводяться топогеодезичні роботи з винесення на місцевість та контрольних виконавчих зйомки. Для знімання споруд аеродрому нині може бути застосоване лазерне сканування (рис. 12, б). Особливо ефективно використання лазерних сканерів для побудови планів фасадів будівель з метою їх реконструкції. Адже точність знімання сканерами така, що дозволяє відобразити найменші подробиці архітектурних деталей.



*Рис. 12. Застосування сучасних геодезичних технологій:  
а – GPS-знімання на території аеродрому; б – результат лазерного сканування споруди аеровокзалу у вигляді плану*

**Висновки відповідно до статті.** Розглянуто особливості топографо-геодезичного забезпечення проектування, будівництва, експлуатації, ремонту та реконструкції аеропортів в Україні. Зроблено наголос на необхідність впровадженні у практику топографо-геодезичних робіт передових технологій: аерознімання території аеродрому з використанням безпілотних літальних апаратів, лідарного знімання висотних перешкод на приаеродромній території. Для спостереження за осіданнями та деформаціями споруд аеродрому в реальному часі ефективним є використання роботизованих комплексів на основі електронних тахеометрів та комп'ютерному опрацюванню даних. Для забезпечення вихідним картографічним матеріалом заходів з ремонту і реконструкції споруд аеродрому запропоновано використовувати лазерне сканування.

#### Список використаних джерел

1. *Про затвердження Державної цільової програми розвитку аеропортів на період до 2023 року [Електронний ресурс] : Постанова Кабінету Міністрів України від 24.02.2016 № 126. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show>.*
2. *Кучер О. В. Геодезическая основа Международного аэропорта Борисполь-2 в системе ITRF97 / О. В. Кучер, О. А. Абрикосов, Д. А. Марченко // Наук.-техн. симпоз. «Геомониторинг – 99». – Л., 1999. – С. 2–9.*



3. Данкевич А. Ф. Проблеми геодезичного контролю положення висотних об'єктів на аеродромах та приаеродромних територіях / А. Ф. Данкевич, С. Ю. Марков, В. А. Бабченко // Вісн. геодез. та картограф. – 2005. – № 1. – С. 4–7.
4. Аналіз випадків визначення планових координат при контролі положення висотних об'єктів на аеродромних та приаеродромних територіях / А. Ф. Данкевич, В. М. Золотоперий, С. Д. Крячок // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Авіа – 2013». – К. : НАУ, 2013. – Т. 5. – С. 30.50–30.54.
5. Городецкий С. И. Топографо-геодезическая жизнь аэродрома / С. И. Городецкий // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2007. – № 2. – С. 53–60.
6. Повітряний кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17>.
7. Таланов Г. П. Аэропорты та їх експлуатація / Г. П. Таланов. – К. : НАУ, 2001. – 116 с.
8. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000–1:500. ГКНТА-2.04-02-98. – К. : ГУГК та К, 1998. – 155 с.
9. ДБН А. 2.1-1-2014. Державні будівельні норми. Інженерні вишукування для будівництва. – К. : Держстандарт України, 2014. – 126 с.
10. Аэрофотосъемка БПЛА в геодезии [Електронний ресурс] // Офіційний сайт ООО «СИПРОЕН». – Режим доступу : <http://siproen.ru/aerofotos-emka-bpla>.
11. Collection of Aviation Terrain and Obstacle Data (eTOD) by Lidar [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.airseair.com/images/etod/AIRSEAIR-eTOD.ppsx>.
12. Про затвердження Інструкції з експлуатації аеродромів державної авіації України [Електронний ресурс] : Наказ Міністерство оборони України від 01.07.2013 № 441. – Режим доступу : [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/RE23761.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE23761.html).
13. Про затвердження Правил визначення придатності до експлуатації аеродромів та злітно-посадкових майданчиків державної авіації України [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства оборони України від 17.11.2014 № 811. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1571-14>.
14. Про затвердження правил сертифікації цивільних аеродромів України [Електронний ресурс] : Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації від 25.10.2005 № 796. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1357-05>.
15. Водов М. А. ГИС для систем обеспечения безопасности полета самолетов / М. А. Водов, Г. Г. Пухов, В. И. Бабуров // Геопрофи. – 2004. – № 3. – С. 2–5.
16. Порядок погодження місця розташування та висоти об'єктів на приаеродромних територіях та об'єктів, діяльність яких може вплинути на безпеку польотів і роботу радіотехнічних приладів цивільної авіації [Електронний ресурс] : Наказ Міністерства інфраструктури України від 24.12. 2012 № 2147/22459. – Режим доступу : <http://zakon.rada.gov.ua/go/z2147-12>.
17. ICAO Document: Terrain and Obstacle Data Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual>.
18. ICAO Document 9674: World Geodetic System 1984 (WGS-84) Manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.icao.int/.../Documents/.../REF08-Doc9674.pdf>.

### References

1. Pro zatverdzenia Derzhavnoi tsilovoi prohramy rozvytku aeroportiv na period do 2023 roku [On Approval of the State Target Program for the Development of Airports for the period up to 2023]. № 126 (February 24, 2016) [in Ukrainian].
2. Kucher, O. V., Abrikosov, O. A. & Marchenko, D. A. (1999). Geodezicheskaya osnova Mezhdunarodnogo aeroporta Borispol-2 v sisteme ITRF97 [Geodetic base of the Borispil-2 International Airport in the ITRF97 system]. Nauchno-tekhnicheskii simpozium geomonitoring-99 – Scientific and Technical Symposium Geomonitoring-99 (pp. 2–9) [in Russian].
3. Dankevych, A. F., Markov, S. Iu. & Babchenko, V. A (2005). Problemy heodezychnoho kontroliu polozhennia vysotnykh obiektiv na aerodromakh ta pry aerodromnykh terytoriiakh [Problems of geodetic control of high-rise objects at aerodromes and aerodrome territories]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Bulletin of Geodesy and Cartography*, 1, 4–7 [in Ukrainian].
4. Dankevych, A.F., Zolotoperyi, V. M. & Kriachok, S. D. (2013). Analiz vypadkiv vyznachennia planovykh koordynat pry kontroli polozhennia vysotnykh obiektiv na aerodromnykh ta pry aerodromnykh terytoriiakh [Analysis of cases of determination of plan coordinates in controlling the position of

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

high-rise objects at aerodrome and airfield areas]. *Materialy mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Avia – 2013» – Materials of the international scientific-practical conference «Avia-2013»*, 5, 30.50-30.54 [in Ukrainian].

5. Gorodetskii, S. I. (2007). Topografo-geodezicheskaia zhizn aerodroma [Topographic and geodetic life of the aerodrome]. *Avtomatizirovannyye tekhnologii izyskaniy i proektirovaniia – Automated research and design technologies*, 2, 53–60 [in Russian].

6. Povitrianyi kodeks Ukrainy [Air Code of Ukraine]. (n.d.). [zakon2.rada.gov.ua](http://zakon2.rada.gov.ua). Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3393-17> [in Ukrainian].

7. Talanov, H. P. (2001). *Aeroporty ta yikh ekspluatatsiia [Airports and their operation]*. Kyiv: NAU [in Ukrainian].

8. *Instruktsiia z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000.-1:500 [Instructions for topographical scans on a scale of 1: 5000–1: 500]* (1998). Kyiv: HUHК ta K [in Ukrainian].

9. *Derzhavni budivelni normy. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva [State building standards. Engineering surveys for construction]* (2014). Kyiv: Derzhstandart Ukrainy [in Ukrainian].

10. Aerofotosieemka BPLA v geodezii [Aerial photography of UAV in geodesy]. (n.d.). [siproen.ru](http://siproen.ru). Retrieved from <http://siproen.ru/aerofotos-emka-bpla>.

11. Collection of Aviation Terrain and Obstacle Data (eTOD) by Lidar. (n.d.). [airseair.com](http://www.airseair.com). Retrieved from <http://www.airseair.com/images/etod/AIRSEAIR-eTOD.ppsx>.

12. Pro zatverdzhennia Instruktsii z ekspluatatsii aerodromiv derzhavnoi aviatsii Ukrainy [On Approval of the Instruction on Operation of Airfields of State Aviation of Ukraine]. № 441 (July 1, 2013). Retrieved from [http://search.ligazakon.ua/l\\_doc2.nsf/link1/RE23761.html](http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE23761.html).

13. Pro zatverdzhennia Pravyl vyznachennia prydatnosti do ekspluatatsii aerodromiv ta zlitnopoladkovykh maidanchykyv derzhavnoi aviatsii Ukrainy [On Approval of the Rules for determining the suitability for operation of aerodromes and landing stages of the State Aviation of Ukraine]. № 811 (December 17, 2014). Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1571>.

14. Pro zatverdzhennia pravyl sertyfikatsii tsyvilnykh aerodromiv Ukrainy [On approval of the rules of certification of civil airfields in Ukraine]. № 796 (November 25, 2005). Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z1357-05>.

15. Vodov, M. A., Pukhov, M. A., Baburov, G. G. (2004) GIS dlia sistem obespecheniia bezopasnosti poleta samoletov [GIS for aircraft flight safety systems]. *Heoprofi – Geoprofi*, 3, 2–5 [in Russian].

16. Poriadok pohodzhennia mistsia roztashuvannia ta vysoty ob'ektiv na pry aerodromnykh terytoriiakh ta ob'ektiv, diialnist yakykh mozhe vplynuty na bezpeku polotiv i robotu radiotekhnichnykh pryladiv tsyvilnoi aviatsii [The procedure for coordinating the location and height of objects at the aerodrome territories and objects whose activities may affect the safety of flights and the operation of radio civil aviation devices]. № 2147/22459 (December 24, 2012) [in Ukrainian].

17. European Organisation for the safety of air and navigation (2015). Eurocontrol Terrain and Obstacle Data Manual. [www.eurocontrol.int](http://www.eurocontrol.int). Retrieved from <http://www.eurocontrol.int/publications/terrain-and-obstacle-data-tod-manual> [in English].

18. European Organisation for the safety of air and navigation (2015). Eurocontrol Terrain and Obstacle Data Manual. [www.icao.int](http://www.icao.int). Retrieved from <https://www.icao.int/.../Documents/.../REF08-Doc9674.pdf> [in English].

UDK 528.3

Serhiy Kriachok

## TOPOGRAPHIC AND GEODETIC SUPPORT OF AIRPORTS

**Urgency of the research.** In Ukraine, the State Target Program for the Development of Airports for the period up to 2023 was adopted. The purpose of the Program is to meet the needs of the state in ensuring a stable development of the aviation industry, bringing the infrastructure of aviation transport in line with international standards.

**Target setting.** To achieve the goal, it is proposed to carry out construction, reconstruction and modernization of aerodromes and airfield facilities; infrastructure objects.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications covering the coverage of airport geodesic coverage were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In these works, the application of state-of-the-art technology for the whole complex of geodetic support of airports is not fully considered.

**The research objective.** The main purpose of this work is to review the current state of the entire complex of topographic and geodetic supply of airports in Ukraine from surveys to repair and reconstruction.

**The statement of basic materials.** The features of the topographic and geodetic support for the design, construction, operation, repair and reconstruction of airports in Ukraine are considered.

**Conclusions.** It is necessary to introduce in practice topographic and geodetic works for the needs of airports in Ukraine advanced technologies: aerial use of unmanned aerial vehicles; Lidar removal of high-altitude obstacles; laser scanning of airport facilities; robotic complexes based on electronic total station and computer processing of data.

**Keywords:** electronic total station; unmanned aerial vehicle; Lidar; laser scan.

**Fig.:** 12. **References:** 18.

УДК 528.3

Сергей Крячок

## ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АЭРОПОРТОВ

**Актуальность темы исследования.** В Украине принята Государственная целевая программа развития аэропортов на период до 2023 года. Целью Программы является удовлетворение потребностей государства в обеспечении стабильного развития авиационной отрасли, приведение авиационного транспорта в соответствии с международными стандартами.

**Постановка проблемы.** Для достижения цели предлагается провести строительство, реконструкцию и модернизацию аэродромов и аэродромных объектов; объектов инфраструктуры.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, посвященные освещению геодезического обеспечения аэропортов.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** В приведенных работах не в полной мере рассмотрено применение самых современных технологий для всего комплекса геодезического обеспечения аэропортов.

**Постановка задачи.** Главной целью этой работы является обзор современного состояния всего комплекса топографо-геодезического обеспечения аэропортов в Украине – от изысканий до ремонта и реконструкции.

**Изложение основного материала.** Рассмотрены особенности топографо-геодезического обеспечения проектирования, строительства, эксплуатации, ремонта и реконструкции аэропортов в Украине.

**Выводы в соответствии со статьей.** Необходимо внедрять в практику топографо-геодезических работ для нужд аэропортов в Украине передовые технологии: аэросъемки с использованием беспилотных летательных аппаратов; лидарной съемки высотных препятствий; лазерного сканирования сооружений аэропорта; роботизированных комплексов на основе электронных тахеометров и компьютерной обработки данных.

**Ключевые слова:** электронный тахеометр; беспилотный летательный аппарат; лидар; лазерное сканирование.

**Рис.:** 12. **Библ.:** 18.

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Крячок Сергей Дмитриевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kriachok Serhiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** geodesist2015@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

**ResearcherID:** N-3070-2016

Анатолій Сатюков, Анатолій Приступа,  
Володимир Журко, Мстислав Бивалькевич

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ВОЛОГОСТІ СТІНОВИХ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ПРОХОДЖЕННЯ РАДІОХВИЛЬ НВЧ ДІАПАЗОНУ

**Актуальність дослідження.** Сучасні технічні та інформаційні системи значною мірою використовують надвисокі частоти (1-10 ГГц). Надійність таких систем тісно пов'язана з проходженням НВЧ сигналів крізь різні матеріали. При цьому спостерігається послаблення радіосигналу, ступінь якого великою мірою залежить від рівня вологості речовини. Тому вивчення закономірностей, що пов'язані з проходженням НВЧ радіохвиль через вологі матеріали, є дуже важливим і актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Умови розповсюдження радіохвиль впливають на задачі, що необхідно вирішувати при проектуванні, виготовленні і розміщенні елементів електронних систем радіоканалів. Урахування рівня послаблення сигналів перешкодами дозволяє обрати оптимальні робочі частоти, потужності генераторних елементів, параметри антенних систем та їх розташування, що, у свою чергу, впливає на надійність роботи таких систем, їх заводськість, конкурентну спроможність, економічність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання розповсюдження радіохвиль у повітрі вивчені дуже ретельно і повно. Визначені частоти, на яких спостерігається найменше, а також і найбільше затухання радіохвиль. Це дозволило створити надійні й оптимально структуровані канали бездротового зв'язку.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** В останні роки все більше розвиваються системи радіозв'язку, які працюють в умовах розповсюдження радіохвиль за наявності різноманітних перешкод. Наприклад мобільний зв'язок чи бездротовий інтернет, які працюють у тому числі в приміщеннях і будівлях. Такі параметри каналів радіозв'язку, як потужність передавачів, конструкція та розміщення антен тісно пов'язані з взаємодією радіохвиль з різноманітними перешкодами. Такими перешкодами, зокрема, можуть бути різні будівельні конструкції – стіни, перекриття та ін. Вони послаблюють потужність радіохвиль, що проходять крізь них. Ступінь такого послаблення може суттєво залежати від рівня вологості матеріалу перешкоди. Наведені в різних літературних джерелах дані здебільшого не враховують цього аспекту.

**Мета дослідження** полягає у вивченні впливу вологості стінових будівельних матеріалів на рівень послаблення НВЧ сигналів та визначення частот, на яких спостерігається мінімальний рівень послаблення.

**Виклад основного матеріалу.** Нами були проведені експериментальні дослідження з визначення ступеня послаблення НВЧ сигналів стіновими будівельними матеріалами при різному рівню вологості речовини. Отримані результати порівнювались з проходженням радіохвиль крізь сухий зразок. Це дало змогу з'ясувати саме вплив зміни вологості на послаблення радіосигналу. Вимірювання проводились в діапазоні частот 2–8 ГГц та зміни вологості зразків до 10 %.

Проведено аналіз послаблення сигналу від ступеню вологості на окремих частотах. Здійснено порівняння послаблення радіохвиль різними матеріалами з однаковим рівнем вологості.

**Висновки відповідно до статті.** Для основних стінових будівельних матеріалів – бетон, цегла червона та силікатна, пінобетон – визначені експериментальні залежності послаблення сигналу НВЧ від вологості в смузі частот 2–8 ГГц: діапазони частот з найменшим та найбільшим послабленням НВЧ сигналу.

**Ключові слова:** НВЧ сигнал; послаблення радіохвиль; стінові будівельні матеріали; вологість; експериментальні дослідження.

Рис.: 4. Бібл.: 7.

**Постановка проблеми.** Питання впливу навколишнього середовища на проходження радіохвиль набули актуальності в другій половині ХХ сторіччя. Розвиток декількох напрямків електронної техніки вимагав вивчення впливу середовища на розповсюдження в ньому радіосигналів: радіозв'язок (у тому числі радіо і телебачення), радіолокація та радіонавігація, мобільний телефонний зв'язок, супутникове телебачення, телекомунікаційні системи, бездротовий інтернет, НВЧ розігрів речовини, військова електроніка тощо. Дуже великим поштовхом стала необхідність мати надійний космічний зв'язок.

Розробка електронних пристроїв, що забезпечують роботу таких систем неможлива без урахування питань, пов'язаних з розповсюдженням радіохвиль. Адже при проходженні останніх через навколишнє середовище виникає багато явищ і ефектів: це поглинання електромагнітних хвиль, дифракція на перешкодах та відбивання від різних поверхонь зі зміною (чи без зміни) фази відбитої хвилі, зміна довжини хвилі в речовині та інше.

Умови розповсюдження радіохвиль впливають на величезну кількість конструкційних завдань, що необхідно вирішувати при проектуванні, виготовленні і розміщенні елементів електронних систем відповідного призначення. Як приклад можна назвати вибір робочої частоти, потужність генераторних елементів, параметри антенних систем

та їх розташування, часові режим роботи тощо, що впливає на надійність роботи таких систем, їх завадостійкість, конкурентну спроможність, економічність.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Свого часу були проведені масштабні дослідження по вивченню проходження радіохвиль через атмосферу Землі. Для різних діапазонів були вивчені залежності проходження радіохвиль від географічних та кліматичних факторів, добових та сезонних змін, стану тропосфери та іоносфери при впливу на них космічних явищ. Були виявлені величини послаблення радіосигналів в атмосфері, визначені частоти резонансного поглинання електромагнітних хвиль. Результати висвітлені у великій кількості публікацій, наприклад огляд в [1].

Проведення таких досліджень дозволило створити високоефективні електронні НВЧ системи різноманітного призначення.

По-іншому велись пошуки оптимальної частоти для НВЧ систем, призначених для розігріву речовини, оскільки в цьому випадку потрібно не мінімальне послаблення радіохвиль, а навпаки – максимальне їх поглинання.

Визначальним фактором при цьому є наявність молекул води в різноманітних матеріалах. Відомо, що ефективність послаблення радіохвиль водою починає падати при збільшенні частоти понад 2,6 ГГц. При таких частотах суттєво зменшується коефіцієнт діелектричної проникності, оскільки починають проявлятися інерційні властивості молекули води [2].

З іншого боку, бажано використовувати максимальні частоти, оскільки кінетична енергія обертального руху молекул пропорційна квадрату частоти. Тому чим вище частота, тим більшу енергію набувають молекули води в речовині й відповідно зростає ефективність розігріву.

Для технологічних НВЧ систем нагріву обрано опорну частоту 2,45 ГГц, оскільки при такій частоті молекули води ще «встигають» орієнтуватись за напрямком електричного поля. Бурхливе зростання популярності таких систем (побутовий варіант – мікрохвильова пічка) призвело до того, що в багатьох країнах виділено частотний діапазон, в якому експлуатація НВЧ апаратури не потребує процедури ліцензування. В Україні, як і в деяких інших країнах, межі такого інтервалу відповідають частотам (2,45–2,48) ГГц.

В останній час все ширшого використання набувають бездротові IT-технології, особливо мережі Інтернет. При визначенні частотного діапазону для роботи таких систем значну роль відіграв факт наявності частот, вільних від ліцензування. Тому не випадково одним із параметрів для WI-FI є значення несучої частоти 2,45 ГГц.

За останні роки розроблено широкий асортимент пристроїв для цієї частоти – різноманітні модулі, антени, перетворювачі тощо. Вони є досить дешевими і доступними.

Однак зростання кількості пристроїв у цьому діапазоні збільшує рівні завад, що змушує виробників звертатися до інших частот. Так, зокрема, є системи WI-FI, що працюють на частоті 5,5 ГГц.

Іншим дуже бурхливим напрямом розвитку НВЧ є застосування їх у різноманітних технічних системах, наприклад, у системах позиціонування у виробничих приміщеннях [3].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Автори свідомо не розглядають увесь велетенський перелік НВЧ пристроїв і систем. Нами виділено лише ті варіанти, в яких апаратура може працювати в закритих приміщеннях і на її надійність можуть впливати процеси взаємодії радіохвиль з перешкодами.

Вся вищезгадана електронна техніка буде ефективно функціонувати, якщо при її створенні й експлуатації будуть враховані відповідні аспекти взаємодії електромагнітних хвиль з речовиною, або з середою їх розповсюдження. Водночас можна зауважити певні суперечності в деяких підходах до цього питання.

Як вже згадувалось, питання розповсюдження радіохвиль в атмосфері вивчені ретельно і системно. Це дозволило створити телекомунікаційні системи, надійний космічний зв'язок, різноманітну НВЧ апаратуру тощо. [4] Проте робота НВЧ систем у приміщеннях з великою кількістю перешкод може суттєво відрізнятись від роботи розглянутих вище НВЧ

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

систем, зокрема значення несучої частоти. Перешкоди, якими можуть бути різні будівельні конструкції – стіни, перекриття, тощо, послаблюють потужність радіохвиль, що проходять скрізь них. Ступінь такого послаблення може суттєво залежати від рівня вологості матеріалу перешкоди. Наведені в різних літературних джерелах дані здебільшого не враховують цього аспекту. Ті ж публікації, які стосуються цього питання, мають багато «білих» плям.

Так у [2; 5] розглянуто зменшення діелектричної проникності в чистій воді. Проте волога, що знаходиться в реальних речовинах, зазвичай неповною мірою відповідає параметрам такої води. З цього погляду корисно мати більш детальну інформацію про вплив вологості на проходженні НВЧ радіохвиль через різноманітні будівельні матеріали, в яких вода знаходиться у зв'язаному стані з молекулами речовини.

**Мета дослідження:** визначення впливу вологості стінових будівельних матеріалів на рівень послаблення НВЧ сигналів та визначення частот з мінімальним рівнем такого послаблення.

**Виклад основного матеріалу.** При визначенні впливу вологості будівельних матеріалів на проходженні НВЧ сигналів через них були визначені такі умови:

1. За зразки були обрані стінові матеріали, які широко використовуються при спорудженні звичайних будівель, а саме – цегла червона, цегла силікатна, бетон, пінобетон.

2. Вологість зразків змінювалась у межах від 1 до 10 %. Більший вміст вологи в звичайних умовах маловірогідний. Він може існувати в поверхневих шарах зовнішніх стін під час атмосферних опадів, а також у вологих підвальних та напівпідвальних виробничих приміщеннях, деяких підземних об'єктах. Для створення апаратури, що може працювати в таких умовах, треба проводити додаткові дослідження, які авторами цієї статті за мету не ставились.

3. Обрано частотний діапазон (2–8) ГГц, який перекриває робочі частоти існуючих технічних та інформаційних систем.

Вимірювання проводились за допомогою панорамного вимірювача КСХН та послаблення Я2Р-67 за стандартною методикою з набором генераторів змінної частоти ГКЧ-52, ГКЧ-53, ГКЧ-57. Як передавальні та сприймальні елементи використовувались хвилеводно-коаксиальні переходи [6–7]. Елементи НВЧ тракту (спрямовані відгалужувачі, детекторні головки, випромінювачі, приймальні елементи, узгоджені навантаження) обирались відповідно до діапазону, в якому проводились вимірювання. Зовнішній вигляд експериментальної установки представлено на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд експериментальної установки:

- 1 – генератор змінної частоти ГКЧ-52; 2 – генератор змінної частоти ГКЧ-57;  
3 – генератор змінної частоти ГКЧ-53; 4 – індикатор КСХН та послаблення Я2Р-67;  
5 – передавальна антена; 6 – приймальна антена

Визначена вологість зразків досягалась таким чином. На добре висушений зразок додавалась певна кількість води відповідно до його маси. Зразок витримувався в герметичному стані декілька годин для рівномірного розподілення води в ньому. У випадках малої гігроскопічності деяких матеріалів (цегла силікатна, бетон) і великих рівнів вологості вода додавалась в декілька прийомів. Таким чином, вологість зразків змінювалась від 1 до 10 % з інтервалом через один відсоток.

В якості калібрувальної було взято залежність потужності сигналу, що пройшов через сухий зразок. На рис. 2–4 зображена різниця між потужністю сигналу при визначеному рівні вологості і калібрувальною залежністю.

На рис. 2 наведено отримані залежності послаблення НВЧ сигналів будівельними матеріалами від частоти сигналу при різній вологості зразків.

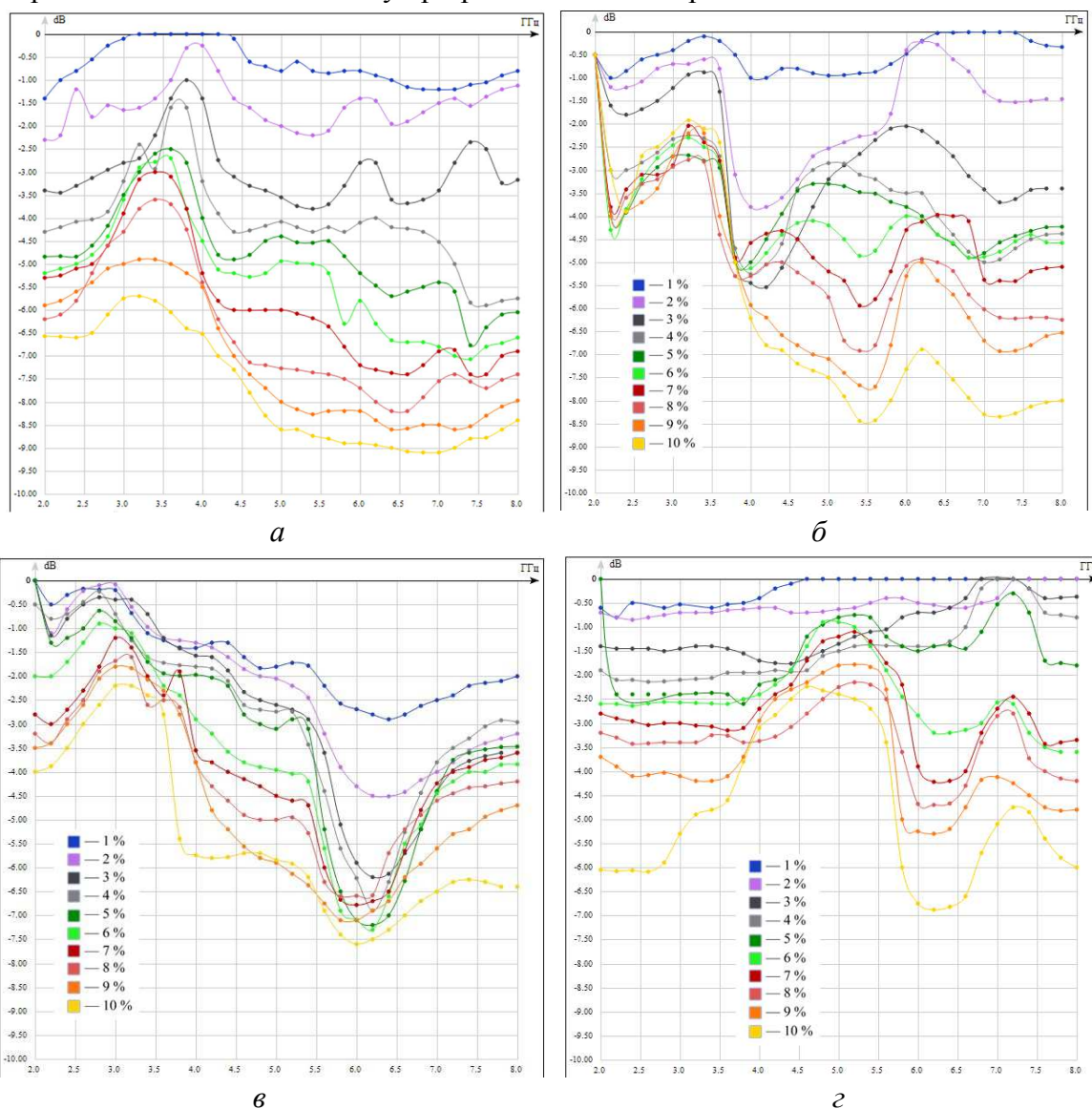


Рис. 2. Залежності послаблення НВЧ сигналу від частоти сигналу при різній вологості для: а – бетону; б – червоної цегли; в – силікатної цегли; з – піску; д – пінобетону

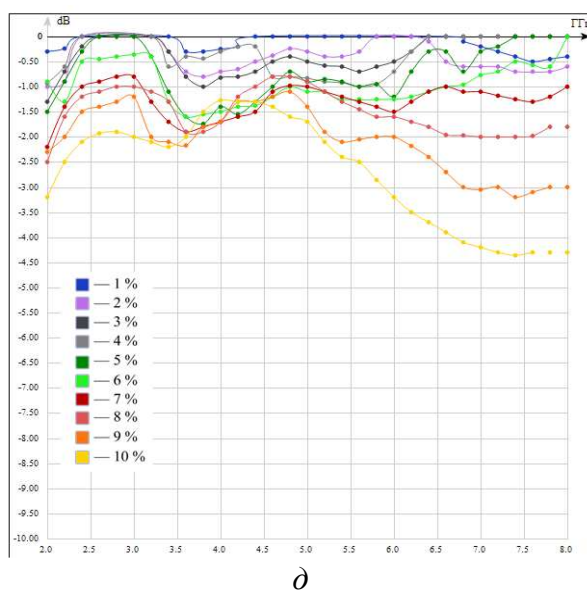


Рис. 2, аркуш 2

### Результати експериментальних досліджень.

Досить складний характер експериментальних залежностей можна пояснити наступним. У випадках, коли досліджувалась взаємодія електромагнітних хвиль з чистою водою, взаємодія хвиль з речовиною визначалась насамперед властивостями молекул саме води. На потужність радіохвиль при їх проходженні через реальне вологе середовище впливає багато чинників. Назвемо деякі з них.

Вода, що потрапляє в речовину, не є чистою водою. Це скоріше специфічний розчин з великою кількістю компонентів. Звичайно, взаємодія молекул води з хвилями має місце, але до неї ще додається взаємодія хвиль з домішками. У будівельних матеріалах вода може знаходитись у різних станах. По-перше, у процесі затвердіння багатьох будівельних матеріалів відбувається перехід молекул води у зв'язаний стан. По-друге, при зволоження речовини молекули води взаємодіють з частинками даної речовини. Це дуже істотний факт, бо тут можливий перехід електронів між існуючими енергетичними рівнями, або утворення нових рівнів. По-третє, в пористих матеріалах вода може утворювати мікрокраплі, тобто перебувати в звичайному рідкому стані.

Самі ж будівельні матеріали також являють собою досить складну систему. Вони можуть бути однорідними за густиною, наприклад, силікатна цегла, будівельний гіпс; можуть мати порожнини різної величини – пінобетон, червона цегла. При цьому слід зазначити, що будова останніх двох речовин може бути принципово різною. Якщо в першому існує велика кількість більш-менш подібних за розмірами і розподілених по всьому об'єму порожнин, то в другому процес обпалювання утворює велику кількість різних шпарин, розривів тощо. Тобто структура червоної цегли може бути досить неоднорідною.

Всі вищезгадані фактори є причиною того, що в речовині утворюється дуже складна коливальна система з різноманітним спектром частот внутрішніх коливань складових цієї системи. У таких системах можуть виникати частоти резонансних коливань, зумовлених переходами електронів між відповідними енергетичними рівнями.

Окремо слід виділити бетон. Він складається з цементного розчину і наповнювача. Останній – це гравій з різними за розмірами та формою частинками. При проходженні НВЧ сигналу через таку речовину, крім звичайних втрат енергії сигналу, може відбуватись додаткова взаємодія хвиль на межі розчин-наповнювач, а також дифракція на частинках гравію.



Як наслідок, залежності послаблення НВЧ потужності будівельними матеріалами від частоти сигналу при різній вологості зразків мають дуже складний вигляд. При одному рівні вологості на них спостерігаються як монотонні залежності, так і резонансні ділянки.

У бетонних зразків (рис. 2, а) спостерігалось досить значне послаблення сигналу зі зростанням вологості. При вологості 10 % воно досягало (6-9) дБ у широкому частотному діапазоні. Найменше послаблення спостерігалось на частотах (2,8-4,2) ГГц. Причому в інтервалі (3,2-4,4) ГГц при 1 % вологості воно було практично відсутнім.

Для бетонних зразків цікавим нюансом є наявність цілої низки локальних максимумів, які спостерігаються при певних рівнях вологості. На наведеному прикладі вони є на частотах близько 6 ГГц при (1-4) % вологості, а при (5-8) % – на частотах близько 7 ГГц. Такі ділянки частіше зустрічаються у порівняно неоднорідних матеріалів – червоної цегли, вапняку, пінобетону. Загальною рисою їх внутрішньої структури є наявність порожнин. Водночас для більш однорідних матеріалів (цементний розчин, стяжка, клей для плитки) такі локальні максимуми чи мінімуми не є характерними. Для них типовим є зростання чи зменшення послаблення в більш широкому інтервалі вологості.

У зразків червоної цегли (рис. 2, б) найкраще проходження хвиль спостерігалось на частотах (2,5–3,5) ГГц. Причому в цьому діапазоні залежність послаблення від ступені вологості не є монотонною. Відповідна графічна інформація наведена далі. Збільшення частоти (до 6 ГГц) призводило до значного послаблення сигналу. Максимальний градієнт спостерігався при частотах (3,5–4) ГГц при вологості більше ніж 2 %. Локальні максимуми спостерігались на частотах біля 6 ГГц при рівнях вологості більше 6 %, а мінімуми на частотах близько 7,2 ГГц при рівнях вологості більше 3 %.

Для силікатної цегли (рис. 2, в) найменше послаблення НВЧ сигналу спостерігається в діапазоні частот (2,7–3,3) ГГц, що є подібним для більшості досліджуваних будівельних матеріалів. Однак максимальне послаблення НВЧ сигналу в цьому випадку відбувається в діапазоні частот (5,5–6,5) ГГц, чого не прослідковується для інших будівельних матеріалів.

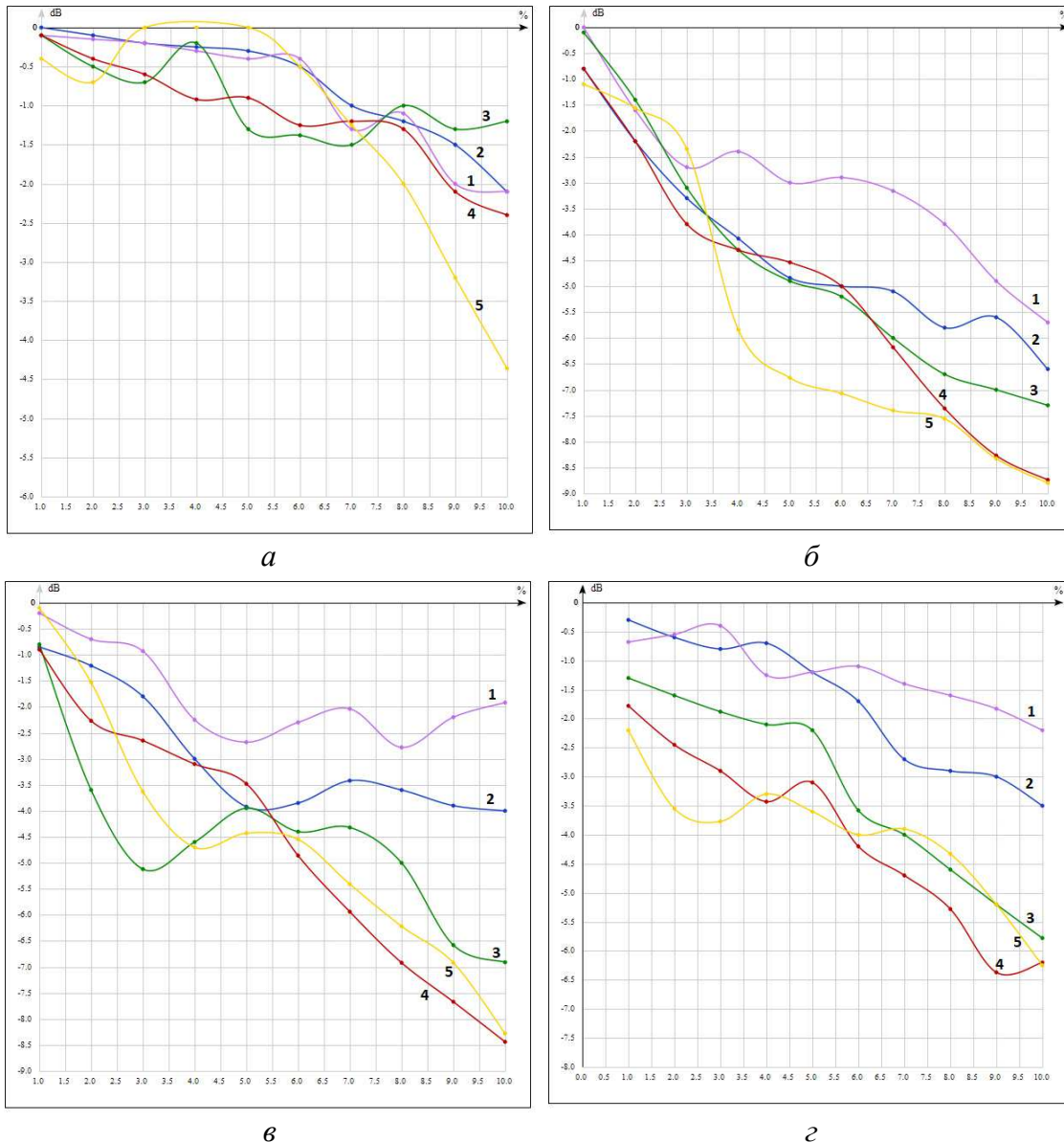
Як видно з рис. 2, г, для піску при низьких рівнях вологості до 5 % найменше послаблення НВЧ сигналу спостерігалось у діапазоні частот (6,7–7,3) ГГц. При зростанні зволоженості спостерігається два діапазони з мінімальним послабленням: один, як і для слабо зволених зразків, – (6,7–7,3) ГГц, інший – (4,5–5,5) ГГц.

Пінобетон (рис. 2, д) послаблює сигнал значно менше ніж цегла чи бетон. Максимальне послаблення досягало 4 дБ. Найкращі умови для проходження НВЧ сигналу крізь цей матеріал спостерігаються при частотах від 2,4 ГГц до 3,3 ГГц. При рівні вологості 6 % спостерігався ще один інтервал – від 6,4 ГГц до 7,0 ГГц. Подальше зростання вологості приводить до відносно значного послаблення сигналу, особливо на частотах більше за 6 ГГц.

У деяких матеріалах на певних частотах при рівні вологості (1–2) % було зауважено відсутність послаблення сигналу. Цей факт можна пояснити тим, що незначна (близько 1 %) вологість на певних частотах покращує узгодження поверхні з повітрям. Як наслідок, зменшується відбиття хвиль від зразка. При подальшому збільшенні вологості визначальну роль починають відігравати процеси в об'ємі речовини і послаблення сигналу зростає.

За отриманими результатами, що наведені на рис. 2, були побудовані залежності послаблення сигналу стіновими матеріалами від рівня вологості на п'яти окремих частотах: 2,4 ГГц, 3,2 ГГц, 4,4 ГГц, 5,4 ГГц і 7,4 ГГц. Вони показані на рис. 3.

Частоти 2,4 ГГц та 5,4 ГГц викликають особливий інтерес, оскільки це частоти, на яких працює бездротовий Інтернет.



*Рис. 3. Залежності послаблення НВЧ-сигналу від рівня вологості стіновими матеріалами:*

*а – пінобетоном; б – бетоном; в – червоною цеглою; г – силікатною цеглою;  
1 – при частоті 3,2 ГГц; 2 – при частоті 2,4 ГГц; 3 – при частоті 4,4 ГГц;  
4 – при частоті 5,4 ГГц; 5 – при частоті 7,4 ГГц*

Порівнюючи ці залежності можна бачити, що для пінобетону, цегли силікатної та бетону загалом швидкість зміни послаблення сигналу не дуже сильно залежать від частоти. Проте окремі ділянки мають або незначну, або навпаки дуже велику зміну затухання сигналу при зміні вологості зразків. До них можна віднести:

Бетон – частота 3,2 ГГц в інтервалі вологості 3-7 %, та частота 2,4 ГГц при 5-9 % вологості; пінобетон – частота 4,4 ГГц в інтервалі вологості 3-8 %.

У всіх трьох матеріалів найбільші відхилення як в один так і в інший бік спостерігались на частоті 7,4 ГГц. Найбільші відмінності у таких залежностей спостерігались на зразках червоної цегли. Найбільш вірогідно, що це пояснюється дуже неоднорідною структурою цього матеріалу.

Також відповідно до результатів рисунків 2-6 були побудовані залежності послаблення сигналу стіновими матеріалами від частоти при сталих рівнях вологості – від 1 до 9 %.

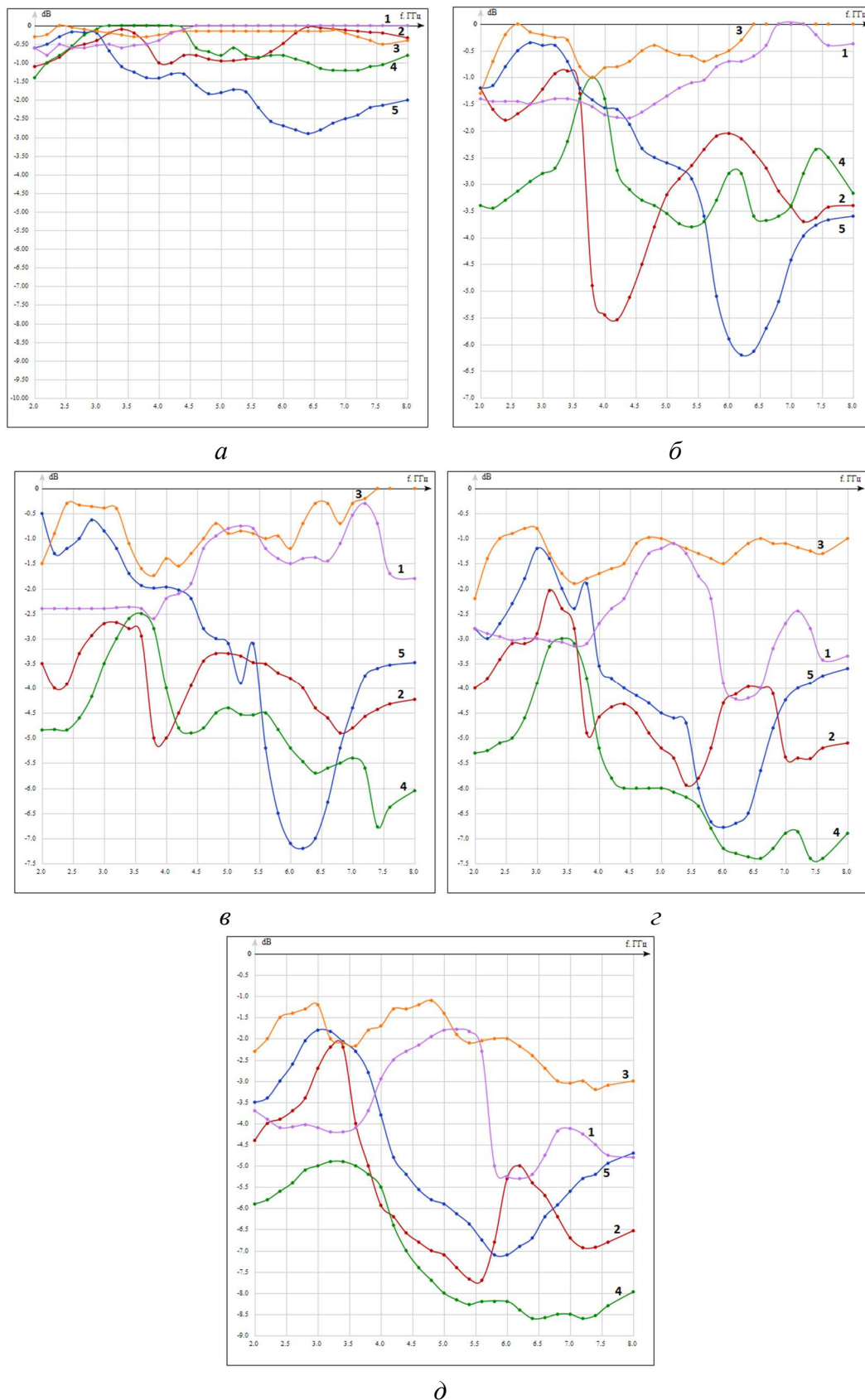


Рис. 4. Залежності послаблення сигналу стіновими матеріалами від частоти при сталих рівнях вологості:  
 а – 1 %; б – 3 %; в – 5 %; г – 7 %; д – 9 %:  
 1 – пісок; 2 – цегла червона; 3 – пінобетон; 4 – бетон; 5 – цегла силікатна

Аналіз цих залежностей показує, що для всіх досліджуваних матеріалів можна виділити два такі діапазони:

Перший діапазон: (2,9–3,5) ГГц. Саме на таких частотах у більшості матеріалів послаблення сигналу найменше. Виняток – дуже великий рівень вологості (9 %). При ньому діапазон менше – від (2,9 до 3,2) ГГц.

Другий діапазон: (5,6–6,5) ГГц. У більшості матеріалів послаблення сигналу на таких частотах найбільше.

**Висновки відповідно до статті.** Для основних стінових будівельних матеріалів: бетон, цегла червона та силікатна, пісок, пінобетон визначені експериментальні залежності послаблення сигналу НВЧ від вологості в смузі частот (2-8) ГГц. Ці залежності можуть використовуватись як інформаційні характеристики систем неруйнівного контролю чи діагностики стану технічних об'єктів та створення каналів радіозв'язку, які працюють у будівлях та спорудах.

Найменше послаблення НВЧ сигналу спостерігалось для більшості будівельних матеріалів у діапазоні частот (2,9-3,5) ГГц при рівнях вологості від 1 до 7 %. Однак хочеться зазначити, що, крім цього, для будівельних матеріалів різного ступеня зволоженості спостерігались також локальні мінімуми на інших частотах.

Загальною тенденцією для більшості будівельних матеріалів є зростання послаблення НВЧ сигналу при зростанні вологості.

Оскільки основні будівельні матеріали суттєво неоднорідні, мають у своїй структурі порожнини, то характеристики послаблення НВЧ сигналів та їх зміна при зміні зволоженості дуже сильно залежать від їх будови. Отже, у системах моніторингу обов'язковою умовою має бути калібрування вимірювальної установки в конкретних умовах контролюваного об'єкта.

#### Список використаних джерел

1. Харвей А. Техника СВЧ / А. Харвей. – М. : Сов. радио, 1965. – 775 с.
2. Пасынков В. В. Материалы электронной техники / В. В. Пасынков, В. С. Сорокин. – М. : Высш. школа, 1986. – 367 с.
3. Кудряшов А. А. Затухание радиоволн и беспроводные технологии построения промышленных сетей диапазона 2,4 ГГц / А. А. Кудряшов // Вісник ЧДТУ. – 2012. – № 4 (61). – С. 183–190.
4. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах / Т. Нарытник, В. Бабак, М. Ильченко, С. Кравчук. – К. : Техніка, 2000. – 298 с.
5. Вязьмитинов И. А. Результаты исследований ослабления энергии электромагнитных волн оптически непрозрачными преградами / И. А. Вязьмитинов, Е. И. Мирошниченко, О. В. Сытник // Радиофизика та електроніка. – 2007. – Т. 12, № 2. – С. 426–434.
6. Сатюков А. І. Використання хвилеводно-коаксиального переходу при вимірюванні вологості тіл з довільною геометрією / А. І. Сатюков, А. Л. Приступа // Збірник матеріалів науково-технічної конференції. – Суми, 2014. – С. 51.
7. Сатюков А. І. НВЧ метод вимірювання вологості об'єктів довільної форми / А. І. Сатюков, А. Л. Приступа, Ю. В. Ленько // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2017. – № 2 (8). – С. 20–28.

#### References

1. Harvey, A. (1965). *Tekhnika SVCh [Microwave technique]*. Moscow: Sov. Radio [in Russian].
2. Pasyinkov, V. V. & Sorokin, V. S. (1986). *Materialy elektronnoi tekhniki [Materials of electronic engineering]*. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
3. Kudryashov, A. A. (2012). *Zatukhanie radiovoln i besprovodnye tekhnologii postroeniia promyshlennykh setei diapazona 2,4 GGts [Attenuation of radio waves and wireless technologies for building industrial networks in the 2.4 GHz]*. *Visnyk ChDTU – The Bulletin of ChDTU*, 4 (61), 183–190 [in Russian].

4. Naryitnik, T., Babak, V., Ilchenko, M., Kravchuk, S. (2000). *Mikrovolnovyie tehnologii v telekommunikatsionnykh sistemakh [Microwave technologies in telecommunication systems]*. Kyiv: Tehnika [in Russian].

5. Vyazmitinov, I. A. Miroshnichenko, E. I. & Syitnik, O. V. (2007). Rezultaty issledovaniia oslableniia energii elektromagnitnykh voln opticheski neprozrachnymi pregradami [The results of investigations of the attenuation of the energy of electromagnetic waves by optically opaque obstacles]. *Radiofizyka ta elektronika – Radio physics and electronics*, 2 (12), 426–434 [in Russian].

6. Satiukov, A. I., Pristupa, A. L. (2014). Vykoristannia khvylevodno-koaksialnogo perekhodu pri vymiriuvanni volohosti til z dovilnoi u heometrii [Use of waveguide-coaxial transition when measuring the humidity of bodies with arbitrary geometry]. *Zbirnik materialiv naukovo-tekhnichnoi konferentsii – Collection of materials from the scientific and technical conference* (p. 51). Sumy [in Ukrainian].

7. Satiukov, A. I., Pristupa, A. L., Lenko, Yu. V. (2017). NVCH metod vymiriuvanni volohosti ob'ektiv dovilnoi formy [Microwave method of measuring moisture objects of the arbitrary form]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 2 (8), 20–28 [in Ukrainian].

UDC 621.391.812

Anatoliy Satukov, Anatoliy Prystupa,  
Vladimir Zhurko, Mstislav Bivalkevich

### EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE INFLUENCE OF HUMIDITY OF WALL CONSTRUCTION MATERIALS ON THE PERFORMANCE OF RADIO WAVES OF A RANDOM LINE

**Urgency of the research.** Modern information technology is using ultrahigh frequencies to a large extent. The reliability of such systems in some cases is associated with the passage of microwave signals through the construction materials. At the same time there is a relaxation of the radio signal, the degree of which largely depends on the level of moisture content. Therefore, the study of patterns associated with the passage of microwave radio waves through wet materials is very important and topical task.

**Target setting.** The conditions for the propagation of radio waves affect the task that needs to be addressed when designing, manufacturing and deploying elements of electronic systems of radio channels. Taking into account the relaxation of signals by interference, it is possible to optimally select the working frequencies, the power of generator elements, parameters of antenna systems and their location. In turn, reliability of work, impedance protection, competitive ability, cost-effectiveness of manufacturing and operation depend on this.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The question of the propagation of radio waves in the air and above the earth's surface has been studied very carefully and completely. The frequencies detected are the least observed, as well as the most damping of radio waves. This made it possible to create reliable and optimally structured communication channels. In recent years, radio communication systems operating in the proliferation of radio waves in the presence of various obstacles are increasingly developing. For example, mobile communications or wireless internet, which work in indoors and buildings. For them, numerous devices, antenna systems, various IT technologies have been created.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Radio channel parameters such as transmitter power, antenna design and placement are closely related to the proliferation of radio waves due to various obstacles. Such obstacles, in particular, may be various building constructions – walls, floors, etc. They weaken the power of radio waves passing through them everywhere. The degree of such relaxation may significantly depend on the level of moisture content of the barrier. The data presented in various literary sources do not, for the most part, take into account this aspect.

**The research objective.** Influence of moisture of wall building materials on the level of weakening of microwave signals and determination of frequencies with a minimum level of such relaxation.

**The statement of basic materials.** The authors carried out measurements of the degree of weakening of microwave radio waves by the main wall building materials - samples of red and silica brick, concrete and foam concrete. Measurements were made when changing the level of moisture content. The obtained results were compared with the passage of radio waves everywhere with a dry specimen. This made it possible to determine exactly the effect of the change in humidity on the relaxation of the radio signal. Measurements were carried out in the frequency range of 2–8 GHz. and humidity of samples of wall materials up to 10 %.

In addition, an analysis of the change in the signal attenuation from the degree of humidity at individual frequencies is carried out. Also, comparing the relaxation of radio waves with different materials with the same level of humidity is made.

**Conclusions** For the main wall building materials – concrete, brick red and silicate, foam concrete specific experimental dependence of the weakening of the microwave signal from moisture in the frequency band 2–8 GHz is determined. frequency bands with the smallest and largest relief of the microwave signal.

**Keywords:** relaxation of radio waves; microwave signal; wall building materials; humidity level; frequency range.

Fig. : 4. References: 7.

*Анатолій Сатюков, Анатолій Приступа,  
Владимир Журко, Мстислав Бивалькевич*

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ СТЕНОВИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРОХОЖДЕНИЕ РАДИОВОЛН НВЧ ДИАПАЗОНА

**Актуальность исследования.** Современные технические и информационные системы в значительной степени используют сверхвысокие частоты (1-10 ГГц). Надежность таких систем связана с прохождением СВЧ-сигналов через различные материалы. При этом наблюдается ослабление радиосигнала, степень которого в значительной степени зависит от уровня влажности вещества. Поэтому изучение закономерностей, связанных с прохождением радиоволн через влажные материалы, является очень важной и актуальной задачей.

**Постановка проблемы.** Условия распространения радиоволн влияют на задачи, которые необходимо решать при проектировании, изготовлении и размещении элементов электронных систем радиоканалов. Учет уровня ослабления сигналов препятствиями позволяет выбрать оптимальные рабочие частоты, мощности генераторных элементов, параметры антенных систем и их расположение, что в свою очередь влияет на надежность работы таких систем, их помехоустойчивость, конкурентную способность, экономичность.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Вопросы распространения радиоволн в воздухе изучены очень тщательно и полно. Определены частоты, на которых наблюдается наименьшее и наибольшее затухания радиоволн. Это позволило создать надежные и оптимально структурированные каналы беспроводной связи.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** В последние годы все больше развиваются системы радиосвязи, работающие в условиях распространения радиоволн при наличии различных препятствий. Например, мобильная связь или беспроводной интернет, работающие, в том числе, в помещениях и зданиях. Такие параметры каналов радиосвязи как мощность передатчиков, конструкция и размещение антенн тесно связаны с взаимодействием радиоволн с различными препятствиями. Такими препятствиями, в частности, могут быть различные строительные конструкции – стены, перекрытия и др. Они ослабляют мощность радиоволн, проходящих сквозь них. Степень такого ослабления может существенно зависеть от уровня влажности материала препятствия. Приведенные в различных литературных источниках данные по большей части не учитывают этого аспекта.

**Цель исследования** заключается в изучении влияния влажности стеновых строительных материалов на уровень ослабления СВЧ сигналов и определения частот, на которых наблюдается минимальный уровень ослабления.

**Изложение основного материала.** Авторами проведены экспериментальные исследования по определению степени ослабления СВЧ сигналов стеновыми строительными материалами при различном уровне влажности вещества. Полученные результаты сравнивались с прохождением радиоволн сквозь сухой образец. Это позволило выяснить именно влияние изменения влажности на ослабление радиосигнала. Измерения проводились в диапазоне частот (2–8) ГГц и изменении влажности образцов до 10 %.

Проведен анализ ослабления сигнала от степени влажности на отдельных частотах. Проведено сравнение ослабления радиоволн различными материалами с одинаковым уровнем влажности.

**Выводы в соответствии со статьей.** Для основных стеновых строительных материалов – бетон, кирпич красный и силикатный, пенобетон определены экспериментальные зависимости ослабления сигнала СВЧ от влажности в полосе частот (2-8) ГГц, выделены диапазоны частот с наименьшим и наибольшим ослаблением СВЧ сигнала.

**Ключевые слова:** СВЧ сигнал; ослабление радиоволн; стеновые строительные материалы; влажность; экспериментальные исследования.

Рис.: 4. Библ.: 7.

**Сатюков Анатолий Иванович** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Сатюков Анатолий Иванович** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Anatoliy Satukov** – PhD in Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Information and Measurement Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035, Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-2901-1152>

**Приступа Анатолий Леонидович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, метрології та фізики, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Приступа Анатолий Леонидович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Anatoliy Prystupa** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of Information and Measurement Technology Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9412-2698>

**Журко Володимир Павлович** – старший викладач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Журко Владимир Павлович** – старший преподаватель кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Vladimir Zhurko** – Senior Lecturer of Department of Information and Measurement Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** phizika61@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6533-5889>

**Бивалькевич Мстислав Олексійович** – старший викладач кафедри інформаційно-вимірювальних технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна)

**Бивалькевич Мстислав Алексеевич** – старший преподаватель кафедры информационно-измерительных технологий, метрологии и физики, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина)

**Mstislav Bivalkevich** – Senior Lecturer of Department of Information and Measurement Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8461-9323>

Олександр Хохотва, Людмила Бутченко, Микола Гомеля

## ВИКОРИСТАННЯ МОДИФІКОВАНИХ І КОМПОЗИЦІЙНИХ ФЕРИТНИХ СОРБЕНТІВ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ВИЛУЧЕННЯ $\text{Cu}^{2+}$

*Актуальність теми дослідження.* Надходження навіть невеликих кількостей важких металів у довкілля становить глобальну проблему внаслідок екоотоксичності, мутагенності важких металів та здатності до біоаккумуляції та біотрансформації.

*Постановка проблеми.* Недостатньо очищені промислові стічні води містять невеликі кількості важких металів і підвищений сольовий вміст, тому їх не можна скидати в природні поверхневі водойми і така вода не придатна до повторного використання у водооборотних циклах.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Сорбенти з нанорозмірними часточками активної фази використовуються в технологіях очистки води від іонів важких металів.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Недослідженим є питання селективності вилучення іонів важких металів з водних розчинів.

*Постановка завдання.* Вивчення процесів сорбції іонів міді на синтетичному модифікованому магнетиті та композиційному сорбенті КУ-2-8-магнетит у присутності солей жорсткості.

*Вигляд основного матеріалу.* Гранична сорбційна ємність не модифікованого магнетиту становила 65 мг/г, магнетиту, модифікованого тіокарбамідом – 80 мг/г, композиційного сорбенту – 170 мг/г. При зростанні концентрації кальцію з 0 до 400 мг/дм<sup>3</sup> коефіцієнт розподілу іонів міді між розчином і немодифікованим магнетитом зменшився більш як вдвічі – з 1076 до 467, у той час як для модифікованого – з 2182 до 1651. Використання композиційного сорбенту забезпечувало стабільність ступеня очистки води від іонів міді в діапазоні концентрацій солей кальцію 0-2000 мг/дм<sup>3</sup>, при цьому коефіцієнт розподілу іонів міді лишався сталим – 1150, а коефіцієнт розділення іонів міді і кальцію зростав з 0,5 до 95.

*Висновки відповідно до статті.* Сорбенти з активною фазою магнетиту здатні не тільки ефективно вилучати іони важких металів з води, але й проявляють високу селективність до них. Модифікований магнетит і композиційний сорбент у процесах вилучення іонів міді в конкурентному іонному середовищі були малочутливими до присутності солей жорсткості.

*Ключові слова:* важкі метали; сорбція; композиційний сорбент; магнетит; солі жорсткості; селективність.

Табл.: 5. Рис.: 3. Бібл.: 14.

**Вступ.** Більшість промислових підприємств у великих містах мають установки локального очищення, на яких стічні води очищуються лише частково, а частково очищена вода розбавляється і скидається. При неефективній очистці стічних вод, що містять важкі метали, останні потрапляють у природні водойми. Більшість іонів важких металів відноситься до I-II класу небезпеки, вони відрізняються канцерогенними, мутагенними властивостями та мають кумулятивні властивості [1; 2]. Токсичність металу пов'язана з його впливом на обмін речовин живих організмів і здоров'я людини. Виникають екологічні проблеми: втрачається природна здатність водойм до самоочищення; порушується функціонування активного мулу на станціях очистки міських стічних вод.

**Постановка проблеми.** Проблема очищення стічних вод від важких металів – загальнодержавна, оскільки токсичні сполуки з приток великих річок неминуче досягнуть водозаборів міст і населених пунктів, які безпосередньо використовують воду відкритих водойм. Тому локальна очистка стічних вод промислових підприємств повинна здійснюватися до практично повного видалення важких металів. Захист водного басейну від забруднення промисловими стічними водами найповніше реалізується при впровадженні оборотних циклів водопостачання. Однак організація оборотного водопостачання з використанням стічних вод на підприємстві можлива тільки за умови їх глибокого очищення від токсичних інгредієнтів.

Для видалення важких металів з води використовуються різні методи: мембранна фільтрація, адсорбція, іонний обмін, коагуляція-флокуляція, хімічне осадження, флоатація та електрохімічні методи. Більшість з них є досить дорогими та нездатними видалити слідові кількості іонів важких металів. Адсорбція, як виняток, є найефективнішою та широковживаною завдяки більшій продуктивності та низькій вартості сорбенту [3].

Проблема у вилученні малих кількостей іонів важких металів з води полягає у тому, що такі води є багатокомпонентними за катіонним складом і містять солі лужних і луж-



ноземельних металів, насамперед кальцію, у концентраціях, які у десятки, а то й сотні разів перевищують концентрацію важких металів. Саме тому традиційні методи, які використовуються для вилучення катіонів – іонний обмін і зворотний осмос, – є малоефективними. За їх використання з води вилучатимуться не тільки іони важких металів, але також, іноді значно більшою мірою, солі кальцію, магнію, натрію, що тягне за собою значні витрати на обслуговування і забезпечення стабільної роботи такого обладнання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками нанотехнології значно прискорили розвиток, їх досягнення також можуть бути використані у вирішенні цієї екологічної проблеми [4]. Магнітні наночасточки, поряд з іншими видами наночастинок, є предметом активного й всебічного вивчення у фізиці, хімії, біології та медицині [5]. Вони можуть використовуватися для очищення стічних вод [6] або концентрування поллютантів [7]. Актуальною є розробка ефективних магнітних сорбентів для видалення високотоксичних сполук з використанням методу магнітної сепарації [8; 9]. Створення магнітних сорбентів обґрунтовано технологічною простотою повного видалення відпрацьованих сорбентів після поглинання ними високотоксичних сполук з сильно забруднених середовищ.

Нанокompозити, які поєднують у собі особливі властивості стабільних наночастинок і властивості полімерної матриці – структурну рухливість, високу проникність і сорбційну ємність, – є дуже перспективними для видалення неорганічних сполук. Процес отримання таких спеціальних композитних сорбентів методом хімічного осадження магнітних оксидів заліза технологічно нескладний. Полімерні композити можуть використовуватися для видалення іонів міді й цинку з розведених водних розчинів [10]. Показана ефективність застосування магнітних полімерів акриламід у частинками магнетиту для очищення стічних вод, забруднених іонами кобальту і нікелю [11].

**Недослідженою частиною загальної проблеми** є відсутність досліджень ефективності вилучення іонів важких металів сорбентами на основі магнетиту з водних розчинів у присутності сторонніх електролітів, які можуть суттєво впливати на процеси катіонного обміну та комплексоутворення.

**Мета дослідження.** Метою цієї роботи є синтез та модифікація синтетичного магнетиту й композиційного магнетит-вмісного сорбенту на основі катіонообмінної смоли для селективного вилучення іонів важких металів з води у присутності солей жорсткості.

**Матеріали та методи дослідження.** Синтез магнетиту проводили за такою методикою. Наважки солей заліза  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  у мольному співвідношенні  $K = [\text{Fe(II)}]/[\text{Fe(III)}] = 0,5$  окремо розчиняли у дистильованій воді, змішували разом і доводили до об'єму  $100 \text{ см}^3$ . Потім при  $t = 30\text{--}35 \text{ }^\circ\text{C}$  і постійному перемішуванні швидко додавали 20%-й розчин  $\text{NaOH}$  до встановлення значення  $\text{pH } 9,5\text{--}10$ . Після витримання протягом 20 хв суспензію переливали в мірний циліндр, промивали дистильованою водою до нейтрального значення  $\text{pH}$  і відстоюванням і декантацією доводили об'єм суспензії до  $100 \text{ см}^3$ . Вміст магнетиту в суспензії визначали гравіметрично [12]. Отриманий сорбент позначений НММ.

Синтезу модифікованого магнетиту проводили аналогічно, з тією відмінністю, що перед змішуванням розчинів солей заліза у розчин  $\text{Fe}^{3+}$  додавали  $20 \text{ см}^3$  10%-го розчину тіокарбаміду (у кількості, щоб створити 2 %-у концентрацію у  $100 \text{ см}^3$  кінцевого розчину). Отриманий сорбент позначений ММ.

Композиційний сорбент отримували змішуванням катіоніту КУ-2-8 з розчинами солей  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  у співвідношенні  $[\text{Fe(II)}]/[\text{Fe(III)}] = 0,5$ , промиванням і додаванням  $\text{NaOH}$  до  $\text{pH } 10$  з наступним відмиванням до нейтрального  $\text{pH}$ . Отриманий композиційний сорбент КУ2-8-М мав чорний колір.

Для побудови ізотерм сорбції суспензії НММ і ММ по  $0,1 \text{ г}$  поміщали у склянки з модельними розчинами  $\text{Cu}^{2+}$  об'ємом  $100 \text{ см}^3$  у діапазоні концентрацій від  $50$  до  $2500 \text{ мг/дм}^3$  при  $\text{pH } 5,5$  та витримували в розчині 4 години при постійному перемішуван-

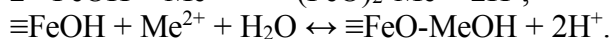
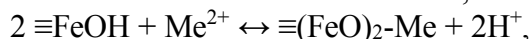
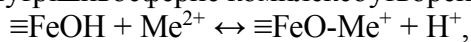
## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

ні, після чого відділяли суспензію магнетиту і визначали рівноважну концентрацію  $\text{Cu}^{2+}$  у рідкій фазі фотометричним методом з діетилдитіокарбаматом [12]. Ізотерму сорбції  $\text{Cu}^{2+}$  на КУ-2-8-М отримували в аналогічних умовах у наважках сорбенту 1 г у діапазоні концентрацій металу 74 до 3500  $\text{мг/дм}^3$ .

Дослідження впливу  $\text{Ca}^{2+}$  (діапазон концентрацій 50 – 400  $\text{мг/дм}^3$ ) на вилучення  $\text{Cu}^{2+}$  зразками магнетиту НММ і ММ проводили зі 100  $\text{см}^3$  розчинів міді з концентрацією 50  $\text{мг/дм}^3$  наважками 0,1 г магнетиту.

Дослідження впливу  $\text{Ca}^{2+}$  на вилучення  $\text{Cu}^{2+}$  композиційним сорбентом КУ-2-8-М були проведені на наважках сорбенту 1 г зі 100  $\text{см}^3$  модельних розчинів при вмісті міді 100 і 200  $\text{мг/дм}^3$  у присутності кальцію 25-2000  $\text{мг/дм}^3$ . Сорбент витримували в розчині 3 години при постійному перемішуванні, після чого відбирали проби для визначення рівноважної концентрації  $\text{Cu}^{2+}$ .

**Результати досліджень.** Сорбційна здатність магнетиту визначається структурними атомами кисню, які виходять на поверхню і частково гідратовані у водному середовищі. Сорбція катіонів міді на поверхні оксидів магнетиту пояснюється з погляду теорії поверхневого комплексоутворення утворенням ковалентного зв'язку з поверхневими ОН-групами (внутрішньосферне комплексоутворення, специфічна адсорбція) за такими схемами:



Ізотерми сорбції  $\text{Cu}^{2+}$  на модифікованому і немодифікованому магнетиті показані на рис. 1.

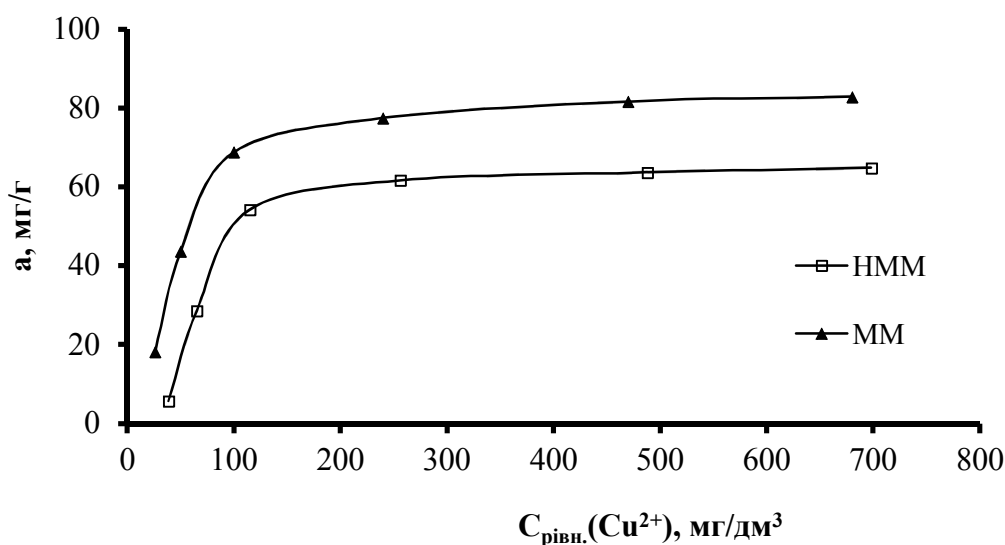


Рис. 1. Ізотерми сорбції міді на немодифікованому та модифікованому тіокарбамідом магнетиті (ММ)

Користуючись методом найменших квадратів, були розраховані ізотерми коефіцієнти Ленгмюра та Фрейндліха у лінійній формі. Найвищі значення коефіцієнтів детермінації спостерігаються в разі застосування моделі Ленгмюра. Модель Ленгмюра основана на припущеннях, всі активні центри однорідної поверхні сорбенту мають однакову енергію і ентальпію сорбції, і між адсорбованими молекулами, що утворюють мономолекулярний шар, немає взаємодії. Розраховані параметри ізотерм Ленгмюра наведено в табл. 1.

Параметри ізотерми Ленгмюра для сорбції  $\text{Cu}^{2+}$  на не модифікованому (НММ) та модифікованому тіокарбамідом (ММ) магнетиті

Сорбент	$a_m$ експ., МГ/Г	$a_m$ експ., ММОЛЬ-ЕКВ/Г	$K_L$	$a_m$ , МГ/Г	$R^2$
НММ	65	2,02	0,015	63	0,9938
ММ	83	2,59	0,013	80	0,9953

Дослідження ефективності вилучення іонів  $\text{Cu}^{2+}$  немодифікованим і модифікованим тіокарбамідом магнетитом у присутності солей  $\text{Ca}^{2+}$  (рис. 2) показали, що сорбційні властивості не модифікованого магнетиту знижуються на незначну величину, а у модифікованого магнетиту вони були кращими і лишалися практично незмінними при зростанні концентрації кальцію до  $400 \text{ мг/дм}^3$ . Розраховані коефіцієнти розподілу і величини питомої ємності наведені у табл. 2.

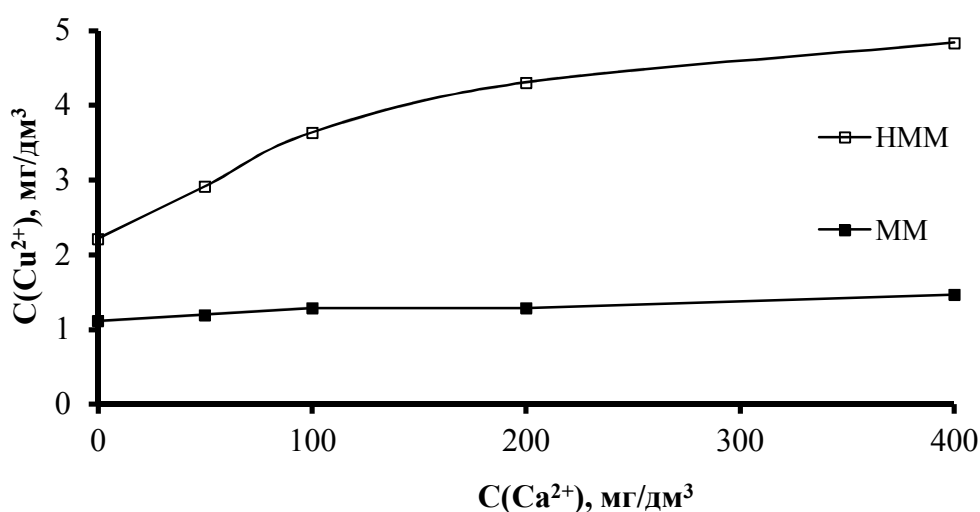


Рис. 2. Залежність залишкової концентрації іонів  $\text{Cu}^{2+}$  при сорбції модифікованим та немодифікованим магнетитом (початкова концентрація  $\text{Cu}^{2+} 50 \text{ мг/дм}^3$ ) від вмісту іонів  $\text{Ca}^{2+}$

Таблиця 2

Питома сорбційна ємність сорбентів і коефіцієнти розподілу ( $K_d$ ) при різних концентраціях  $\text{Ca}^{2+}$  (початкова концентрація  $\text{Cu}^{2+} 50 \text{ мг/дм}^3$ )

$C \text{ Ca}^{2+},$ $\text{мг/дм}^3$	Коеф. надл. $\text{Ca}^{2+}$	НММ			ММ		
		$C \text{ Cu}^{2+}$ зал., $\text{мг/дм}^3$	$a,$ $\text{мг/г}$	$K_d \text{ Cu}^{2+}$	$C \text{ Cu}^{2+}$ зал., $\text{мг/дм}^3$	$a,$ $\text{мг/г}$	$K_d \text{ Cu}^{2+}$
0	0	2,22	47,78	1076	1,12	48,88	2182
50	1	2,92	47,08	806	1,2	48,8	2033
100	2	3,64	46,36	637	1,29	48,71	1888
200	4	4,31	45,69	530	1,29	48,71	1888
400	8	4,84	45,16	467	1,47	48,53	1651

Таким чином, поєднуючи переваги мікроскопічних розмірів часточок фериту (мають значну притому поверхню) і приєднання додаткових активних центрів на поверхні фериту, можна досягти досить глибокого вилучення іонів міді з водних розчинів. Коефіцієнт розподілу  $\text{Cu}^{2+}$  у випадку НММ був удвічі меншим порівняно з ММ і зменшувався більш як у два рази при зростанні фонові концентрації кальцію. На відміну від нього, коефіцієнт розподілу  $\text{Cu}^{2+}$  у випадку ММ зі зростанням концентрації кальцію до 8-ми кратного надлишку змінювався мало.

Ізотерма сорбції іонів міді на КУ-2-8-М показана на рис. 3. Вона найкраще описується моделлю Ленгмюра. Розрахована гранична сорбційна ємність за моделлю Ленгмюра 175 мг/г близька до експериментально отриманої 170 мг/г.

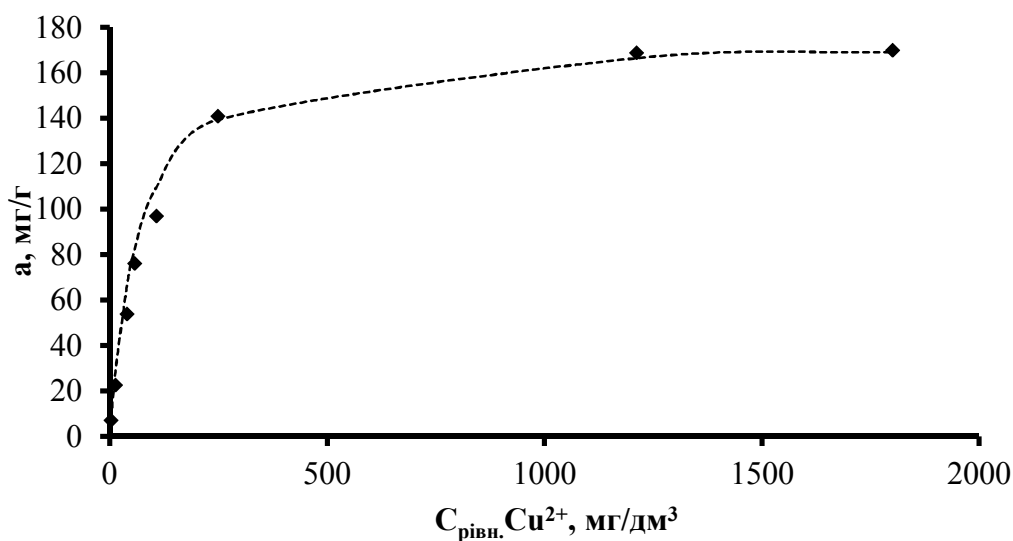


Рис. 3. Ізотерма адсорбції  $Cu^{2+}$  композиційним сорбентом КУ-2-8-М (пунктирна лінія – розрахована ізотерма за моделлю Ленгмюра)

Значне збільшення сорбційної здатності композиційним сорбентом КУ-2-8-М у порівнянні з магнетитом можна пояснити збільшенням активної поверхні першого. Формування фази магнетиту при приготуванні сорбенту відбувається в об’ємі пор іонообмінної смоли за рахунок взаємодії сорбованих іонів  $Fe^{2+}$  і  $Fe^{3+}$  з гідроксид-іонами. Відомо, що питома поверхня пор іонообмінних смол може досягати 150-280  $m^2/g$  [13], що в кілька разів перевищує аналогічну величину для магнетиту. Утворена в порах смоли сорбційно активна фаза магнетиту виключає з процесу найбільш вузькі пори іоніта, сприяючи переведенню процесу переважно в кінетичну стадію.

При синтезі КУ-2-8-М фаза магнетиту осідає в пористому просторі катіоніту на глибині до 50 мкм [14], а частина іонів заліза, очевидно, не переходить у магнетит і лишається в рухливій іонній формі, приєднаній до кислотних центрів іонообмінної смоли. У присутності іонів  $Ca^{2+}$  у модельних розчинах міді після сорбції на композиційному сорбенті спостерігалися значні концентрації заліза, а при високих концентраціях металів розчин набував помітно рудого відтінку.

Для зниження, а по можливості, уникнення десорбції заліза з КУ-2-8-М синтезований сорбент висушували у сушильній шафі при температурі 60 °С. Як видно з табл. 3, композиційний сорбент, який висушили після синтезу, дозволяє досягнути нижчих залишкових концентрацій міді як у монокомпонентних розчинах, так і у присутності іонів кальцію. При цьому десорбція заліза припиняється.

Таблиця 3

Порівняння сорбційних властивостей вологого та попередньо висушеного КУ-2-8-М ( $m = 1 г, V = 0,1 дм^3, C Cu^{2+}_{поч.} = 100 мг/дм^3$ )

Висушування сорбенту	$C Ca^{2+}_{поч.}, мг/дм^3$	$C Cu^{2+}_{кін.}, мг/дм^3$	$C Ca^{2+}_{кін.}, мг/дм^3$	$C Fe_{заг.}, мг/дм^3$
Без висушування	-	14	-	0,011
	50	22	0	0,015
З висушуванням	-	<0,01	-	<0,01
	50	<0,01	0	<0,01

При додаванні до розчинів, що містять  $\text{Cu}^{2+}$ , різних концентрацій  $\text{Ca}^{2+}$ , ефективність вилучення міді попередньо висушеним композиційним сорбентом не знижується (табл. 4).

Таблиця 4

*Коефіцієнти розподілу (Kd) та коефіцієнти розділення  $\text{Cu}^{2+}$  і  $\text{Ca}^{2+}$  ( $C(\text{Cu}^{2+}_{\text{поч.}}) = 250 \text{ мг/дм}^3$ ) при сорбції на КУ-2-8-М*

$C \text{ Ca}^{2+}_{\text{поч.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C \text{ Cu}^{2+}_{\text{кін.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C \text{ Ca}^{2+}_{\text{кін.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	Fe заг., мг/дм <sup>3</sup>	Kd $\text{Cu}^{2+}$	Kd $\text{Ca}^{2+}$	K розд
0	20	0	<0,01	1150	–	–
25	16	0	<0,01	1463	–	–
50	20	3	<0,01	1150	2400	0,5
100	22	5	<0,01	1036	1900	0,5
200	18	22	<0,01	1289	809,1	1,6
500	20	315	<0,01	1150	58,7	19,6
1000	20	861	<0,01	1150	16,1	71,2
2000	20	1784	<0,01	1150	12,1	95,0

У дослідах з вилучення іонів міді з розчинів різної концентрації в присутності однакових концентрацій кальцію спостерігались ті ж тенденції, як і попередніх дослідах. До певної концентрації металів кальцій і мідь вилучались повністю, після чого спостерігалось їх поступове зростання їх концентрацій (табл. 5). Слід відмітити, що використання композиційного катіоніту не змінювало рН очищуваних розчинів, що важливо для очисних споруд у системах оборотного водокористування на підприємствах.

Таблиця 5

*Вплив іонів кальцію на сорбцію міді на КУ-2-8-М*

$C \text{ Cu}^{2+}_{\text{поч.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C \text{ Ca}^{2+}_{\text{поч.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C \text{ Cu}^{2+}_{\text{кін.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	$C \text{ Ca}^{2+}_{\text{кін.}}$ , мг/дм <sup>3</sup>	рН
0	50	0	0	6,6
10	50	0	0	6,5
20	50	0	0	6,6
50	50	1	0	6,6
100	50	20	5	6,5
500	50	36	24	6,6

Очевидно, при малих концентраціях  $\text{Cu}^{2+}$  і  $\text{Ca}^{2+}$  у їх вилученні за рахунок неспецифічної сорбції беруть участь катіонообмінні центри самого КУ-2-8 у Na-формі. Іони міді також вилучаються на активних центрах наночастинок магнетиту в пористому просторі сорбенту. При досягненні стану насичення іонообмінних центрів смоли сорбція кальцію припиняється, а іони міді вилучаються лише за рахунок специфічної сорбції на фазі магнетиту. Таким чином, усувається конкуренція сорбції важких і лужноземельних металів.

**Висновки відповідно до статті.** Поєднуючи переваги мікроскопічних розмірів часточок фериту (мають значну притому поверхню) і приєднання додаткових активних центрів на поверхні фериту, можна досягти досить глибокого вилучення іонів міді з водних розчинів.

Модифікований тіокарбамідом магнетит і композиційний сорбент КУ-2-8-М у процесах вилучення іонів важких металів нечутливі до присутності солей жорсткості і не знижують своєї ефективності при багатократному надлишку іонів кальцію.

#### Список використаних джерел

1. *Toxicity, Accumulation, and Removal of Heavy Metals by Three Aquatic Macrophytes* / A. Basile, S. Sorbo, B. Conte, R. Castaldo Cobiانchi, F. Trinchella, C. Capasso, V. Carginale // International Journal of Phytoremediation. – 2012. – Vol. 14, № 4. – Pp. 374–387.
2. *Chan S. M.* The uptake of Cd, Cr, and Zn by the Macroalga *Enteromorpha crinita* and Subsequent Transfer to the Marine Herbivorous Rabbitfish, *Siganus canaliculatus* / S. M. Chan, W. Wang, I. Ni // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. – 2003. – № 44. – Pp. 298–306.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. *Adsorption* investigation of MA-DTPA chelating resin for Ni (II) and Cu (II) using experimental and DFT methods / X. Zhao, L. Song, Z. Zhang, R. Wang, J. Fu // *Journal of Molecular Structure*. – 2011. – Vol. 986, № 1-3. – Pp. 68–74.
4. Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges / M. G. Jones, R. Blonder, G. E. Gardner, V. Albe, M. Falvo, J. Chevrier // *International Journal of Science Education*. – 2013. – Vol. 35, № 9. – Pp. 1490–1512.
5. Магнитные наночастицы: методы получения, строение и свойства / С. П. Губин, Ю. А. Кокшаров, Г. Б. Хомутов, Г. Ю. Юрков // *Успехи химии*. – 2005. – Т. 74, № 6. – С. 539–574.
6. *Ambashta R. D.* Water purification using magnetic assistance: A review / R. D. Ambashta, M. Sillanpää // *Journal of Hazardous Materials*. – 2010. – Vol. 180, № 1-3. – Pp. 38–49.
7. *Giakisikli G.* Magnetic materials as sorbents for metal/metalloid preconcentration and/or separation. A review / G. Giakisikli, A. N. Anthemidis // *Analytica chimica acta*. – 2013. – Vol. 789. – Pp. 1–16.
8. *Структура* и свойства магнитных композитных сорбентов на основе сверхсшитых полистиролов / А. В. Пастухов, В. А. Даванков, К. И. Лубенцова, Е. Г. Косандрович, В. С. Солдатов // *Журнал физической химии*. – 2013. – Т. 87, № 10. – С. 1721–1727.
9. *Structure* and sorption properties of hypercrosslinked polystyrenes and magnetic nanocomposite materials based on them / A. V. Pastukhov, V. A. Davankov, V. V. Volkov, S. V. Amarantov, K. I. Lubentsova // *Journal of Polymer Research*. 2014. – Vol. 21, № 4. – Pp. 1–11.
10. *Leun D.* Preparation and characterization of magnetically active polymeric particles (MAPPs) for complex environmental separations / D. Leun, A.K. SenGupta // *Environmental Science and Technology*. – 2000. – Vol. 34, № 15. – Pp. 3276–3282.
11. *Kaminski M. D.* Extractant-coated magnetic particles for cobalt and nickel recovery from acidic solution / M. D. Kaminski, L. Nunez // *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. – 1999. – Vol. 194. – Pp. 31–36.
12. *Лурье Ю. Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1984. – 448 с.
13. *Иониты* в цветной металлургии / К. Б. Лебедев, Е. И. Казанцев, В. М. Розманов, В. С. Пахолоков. – М. : Металлургия, 1975. – 352 с.
14. *Аветисян Ю. И.* Синтез композиционного сорбента для удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод / Ю. И. Аветисян, А. П. Хохотва // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – Т. 4, № 10 (76). – С. 4–8.

## References

1. Basile, A., Sorbo, S., Conte, B., Castaldo Cobianchi, R., Trinchella, F., Capasso, C. & Carginale, V. (2012). Toxicity, Accumulation, and Removal of Heavy Metals by Three Aquatic Macrophytes. *International Journal of Phytoremediation*, 4 (14), 374–387 [in English].
2. Chan, S. M., Wang, W. & Ni, I. (2003). The uptake of Cd, Cr, and Zn by the Macroalga *Enteromorpha crinita* and Subsequent Transfer to the Marine Herbivorous Rabbitfish, *Siganus canaliculatus*. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 44, 298–306 [in English].
3. Zhao, X., Song, L., Zhang, Z., Wang, R. & Fu, J. (2011). Adsorption investigation of MA-DTPA chelating resin for Ni (II) and Cu (II) using experimental and DFT methods. *Journal of Molecular Structure*, 1-3 (986), 68–74 [in English].
4. Jones, M. G., Blonder, R., Gardner, G. E., Albe, V., Falvo, M. & Chevrier, J. (2013). Nanotechnology and nanoscale science: Educational challenges. *International Journal of Science Education*, 9 (35), 1490–1512 [in English].
5. Gubin, S. P., Koksharov, Yu. A., Khomutov, G. B. & Yurkov, G. Yu. (2005). Magnitnye nanochastitsy: metody polucheniia, stroenie i svoistva [Magnetic nanoparticles: preparation methods, structure and properties]. *Uspekhi khimii – Advances in Chemistry*, 6 (74), 539–574 [in Russian].
6. Ambashta, R. D. & Sillanpää, M. (2010). Water purification using magnetic assistance: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 1-3 (180), 38–49 [in English].
7. Giakisikli, G. & Anthemidis, A. N. (2013). Magnetic materials as sorbents for metal/metalloid preconcentration and/or separation. A review. *Analytica chimica acta*, 789, 1–16 [in English].

8. Pastukhov, A. V., Davankov, V. A., Lubentcova, K. I., Kosandrovich, E. G. & Soldatov, V. S. (2013). *Struktura i svoistva magnitnykh kompozitnykh sorbentov na osnove sverkhsshitykh polistiroliv* [Structure and properties of magnetic composite sorbents based on super-cross-linked polystyrenes]. *Zhurnal fizicheskoi khimii – Journal of Physical Chemistry*, 10 (87), 1721–1727 [in Russian].
9. Pastukhov, A. V., Davankov, V. A., Volkov, V. V., Amarantov, S. V. & Lubentsova, K. I. (2014). Structure and sorption properties of hypercrosslinked polystyrenes and magnetic nanocomposite materials based on them. *Journal of Polymer Research*, 4 (21), 1–11 [in English].
10. Leun, D. & SenGupta A. K. (2000). Preparation and characterization of magnetically active polymeric particles (MAPPs) for complex environmental separations. *Environmental Science and Technology*, 15 (34), 3276–3282 [in English].
11. Kaminski, M. D. & Nunez, L. (1999). Extractant-coated magnetic particles for cobalt and nickel recovery from acidic solution. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 194, 31–36 [in English].
12. Lurie, Yu. Yu. (1984). *Analiticheskaiia khimiia promyshlennykh stochnykh vod* [Analytical chemistry of industrial wastewater]. Moscow: Khimiia [in Russian].
13. Lebedev, K. B., Kazantcev, E. I., Rozmanov, V. M. & Pakholkov, V. S. (1975). *Ionity v tsvetnoi metallurgii* [Ionites in non-ferrous metallurgy]. Moscow: Metallurgiiia [in Russian].
14. Avetisian, Yu. I. & Khokhotva, A. P. (2015). Sintez kompozitsionnogo sorbenta dlia udaleniia ionov tiazhelykh metallov iz stochnykh vod [Composit sorbent for ions of heavy metals retention from waste water syntethis]. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologij – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 10 (76), 4–8 [in Russian].

UDK 628.31:628.543

Oleksandr Khokhotva, Liudmyla Butchenko, Nikolai Gomelya

### THE USE OF MODIFIED AND COMPOSITE FERRITIC SORBENTS FOR SELECTIVE EXTRACTION OF $\text{Cu}^{2+}$

**Urgency of the research.** The arrival of even small amounts of heavy metals in the environment is a global problem due to ecotoxicity, the mutagenicity of heavy metals and the ability to bioaccumulate and biotransform.

**Target setting.** Insufficiently purified industrial wastewater contains small amounts of heavy metals and increased salt content, so they can not be discharged into natural surface water bodies and this water is not recyclable in water cycles.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Sorbents with nanosized particles of active phase are used in water treatment technologies for the removal of heavy metal ions

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The selectivity problem of the removing heavy metal ions from aqueous solutions is not investigated.

**The research objective** Study of sorption processes of copper ions on synthetic modified magnetite and composite sorbent KU-2-8-magnetite in the presence of hardness salts.

**The statement of basic materials.** The maximum absorption capacity of unmodified magnetite was 65 mg/g, magnetite modified with tiocarbamide – 80 mg/g, composite sorbent – 170 mg/g. With the increase in the concentration of calcium from 0 to 400 mg/dm<sup>3</sup>, the distribution coefficient of copper ions between the solution and unmodified magnetite decreased by more than two folds – from 1076 to 467, while for the modified one – from 2182 to 1651. The use of the composite sorbent provided the constant degree of water purification from copper ions in the range of concentrations of calcium salts 0-2000 mg/dm<sup>3</sup>, and the copper ion distribution coefficient remained constant – 1150, and the coefficient of separation of copper ions and calcium increased from 0.5 to 95.

**Conclusions.** Sorbents with active phase of magnetite are able not only to effectively remove ions of heavy metals from water, but also exhibit high selectivity to them. Modified magnetite and composite sorbent in the processes of copper ion removal in a competitive ionic environment were less sensible to the presence of hardness salts.

**Keywords:** heavy metals; sorption; composite sorbent; magnetite; hardness salts; selectivity.

Table: 5. Fig.: 3. References: 14.

УДК 628.31:628.543

Александр Хохотва, Людмила Бутченко, Николай Гомеля

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ И КОМПОЗИЦИОННЫХ ФЕРРИТНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ СЕЛЕКТИВНОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ $\text{Cu}^{2+}$

**Актуальность темы исследования.** Поступление даже небольших количеств тяжелых металлов в окружающую среду представляет собой глобальную проблему вследствие экотоксичности, мутагенности тяжелых металлов и способности к биоаккумуляции и биотрансформации.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Постановка проблеми.** Недостаточно очищенные промышленные сточные воды содержат небольшие количества тяжелых металлов и повышенное соледержание, поэтому их нельзя сбрасывать в природные поверхностные водоемы и такая вода не пригодна к повторному использованию в водооборотных циклах.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Сорбенты с наноразмерными частицами активной фазы используются в технологиях очистки воды от ионов тяжелых металлов.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Не исследован вопрос селективности извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов.

**Постановка задания.** Изучение процессов сорбции ионов меди на синтетическом модифицированном магнетите и композиционном сорбенте КУ-2-8-магнетит в присутствии солей жесткости.

**Изложение основного материала.** Предельная сорбционная емкость не модифицированного магнетита составляла 65 мг/г, магнетита, модифицированного тиокарбамидом – 80 мг/г композиционного сорбента – 170 мг/г. При росте концентрации кальция с 0 до 400 мг/дм<sup>3</sup> коэффициент распределения ионов меди между раствором и не модифицированным магнетитом уменьшился более чем в два раза – с 1076 до 467, в то время как для модифицированного – с 2182 до 1651. Использование композиционного сорбента обеспечивало постоянство степени очистки воды от ионов меди в диапазоне концентраций солей кальция 0-2000 мг/дм<sup>3</sup>, при этом коэффициент распределения ионов меди оставался постоянным – 1150, а коэффициент разделения ионов меди и кальция возрастал с 0,5 до 95.

**Выводы в соответствии со статьей.** Сорбенты с активной фазой магнетита способны не только эффективно удалять ионы тяжелых металлов из воды, но и проявляют к ним высокую селективность. Модифицированный магнетит и композиционный сорбент в процессах извлечения ионов меди в конкурентной ионной среде были малочувствительны к присутствию солей жесткости.

**Ключевые слова:** тяжелые металлы; сорбция; композиционный сорбент; магнетит; соли жесткости; селективность.

Табл.: 5. Рис.: 3. Библ.: 14.

**Хохотва Александр Петрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Хохотва Александр Петрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Khokhotva Aleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Ecology and Plant Polymers Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** khokhotva@bigmir.net

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2607-9242>

**Scopus Author ID:** 35091271200

**Бутченко Людмила Іванівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Бутченко Людмила Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Butchenko Liudmyla** – PhD, Associate Professor, Associate Professor of Department of Ecology and Plant Polymers Technology, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

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

**Гомеля Микола Дмитрович** – доктор технічних наук, професор, завідуючий кафедрою 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>

**Scopus Author ID:** 6507653734



УДК 676.24

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-1(1)-273-279

Ксенія Осауленко, Ніна Мережко

## СТІЙКІСТЬ ПАПЕРУ З ТОНКОШАРОВИМИ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИМИ ПОКРИТТЯМИ ДО ДІЇ МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

**Актуальність теми дослідження.** Специфічні особливості складу і структури целюлозовмісного паперу обмежують можливості його широкого використання в складі пакувальних та композиційних матеріалів.

**Постановка проблеми.** Наявні способи поліпшення експлуатаційних властивостей целюлозовмісних матеріалів шляхом обробки хімічними сполуками різних класів не завжди дають бажані результати. Особливо це стосується підвищення стійкості паперу до дії механічних навантажень з різноманітним енергетичним спектром.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті публікації у відкритому доступі, опубліковані матеріали, і виявлено, що досліджувані у статті проблеми потребують нових шляхів вирішення цього питання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Застосування сполук, які зможуть хімічно взаємодіяти з поверхнею целюлози та забезпечити контрольований її гідрофільно-гідрофобний баланс.

**Постановка завдання.** Отримання об'єктивних даних щодо дієздатності методів захисту паперу з небіленої целюлози тонкошаровими кремнійорганічними покриттями, шляхом оцінки змочуваності і механічної міцності в процесі дії механічних навантажень.

**Виклад основного матеріалу.** Роботу присвячено оцінці ефективності застосування тонкошарових кремнійорганічних покриттів, з різними вуглеводневими радикалами та функціональними групами біля атома кремнію, для захисту паперу з небіленої целюлози від впливів вібрації, ударних навантажень, динамічної дії пилу.

**Висновки відповідно до статті.** Отримані результати можуть становити практичний інтерес у частині застосування розроблених складів кремнійорганічних тонкошарових покриттів для захисту паперу щодо розробки пакувальних матеріалів на його основі, а також шаруватих наповнювачів для конструкційних композитів.

**Ключові слова:** папір; тонкошарові кремнійорганічні покриття; вібрація; ударні навантаження; пил; змочуваність; механічна міцність.

Табл.: 2. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Вироби та матеріали на основі рослинних полімерів, зокрема целюлози, мають комплекс цінних фізико-хімічних властивостей, які надають широкі перспективи їх функціонального застосування. Особливий інтерес являє собою реалізація паперу в складі пакувальних матеріалів та конструкційних шаруватих композитів. Неабияка перевага використання полягає у високій екологічній безпеці паперу. Час розкладу останнього під дією навколишнього середовища становить до двох років порівняно з 150–200 роками для полімерних матеріалів. Такий високий ступінь його біодеструкції зумовлений особливостями складу целюлози, як основного інгредієнта, та структури самого матеріалу. Тому для успішного використання паперу і виробів на його основі необхідне раціональне поєднання зазначених переваг з ефективними методами захисту в процесі експлуатації.

**Постановка проблеми.** Поєднання в складі паперу інгредієнтів, що забезпечують формування його властивостей, які значно відрізняються за своєю фізико-хімічною сутністю, не завжди дозволяє ефективно використовувати такий матеріал для цілей пакування, а в деяких випадках для наповнення шаруватих композитів різного функціонального призначення. Тому актуальною є проблема формування потрібного рівня якості такого паперу шляхом обробки хімічними речовинами необхідного складу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання, пов'язані з розробкою способів підвищення стійкості паперу до дії деструктивних факторів навколишнього середовища та його механічної міцності, досліджуються вже тривалий час [1]. У переліку останніх особливої уваги заслуговує обробка паперу хімічними речовинами різного складу та структури [2]. До таких речовин відносяться парафіни, амідні смоли та їх модифікації, полівініловий спирт, кремнійорганічні мономери і полімери та наповнені покриття на базі останніх [3–8].

Характерною особливістю целюлозовмісного паперу, який був сформований із застосуванням перерахованих реагентів, або оброблений вже в готовому вигляді, є недостатньо високий рівень якості в частині хімічної стійкості та механічної міцності, що зумовлено різними причинами, серед яких слід акцентувати увагу на таких:

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- відсутність міцного (бажано хімічного зв'язку) між інгредієнтами паперу та зміцнюючою речовиною;
- відносно невисока хімічна стійкість самої речовини;
- неможливість формування гнучкого й еластичного шару зміцнюючого агента на поверхні паперу;
- низька механічна міцність деяких зміцнюючих складів, зокрема на основі поліорганосилоксанів.

Наявність низки специфічних особливостей у складі й структурі паперу та, як наслідок, формування властивостей, які не сприяють його ефективному використанню, а також перераховані вище проблеми, потребують пошуку нових підходів вирішення цих задач.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Загальним і суттєвим недоліком наявних підходів є відсутність урахування особливостей хімічного складу паперу і його основного інгредієнта – целюлози при виборі зміцнюючих складів. Особливістю останньої є присутність як гідрофільних ОН груп, так і гідрофобних вуглеводневих радикалів. Тому для досягнення ефективного захисту такого матеріалу можуть бути використані сполуки, які можуть хімічно взаємодіяти з поверхнею целюлози та забезпечити контрольований її гідрофільно-гідрофобний баланс.

Найбільш повно перераховані вимоги можуть задовольнити кремнійорганічні мономери й олігомери, що містять біля атома кремнію реакційно здатні групи та вуглеводневі радикали [9; 10]. Ефективність захисної дії може бути оцінена за рівнем зміни змочуваності тонкошарових покриттів на їх основі в процесі впливу механічних навантажень (вібрація, ударні навантаження, динамічна дія пилу). Вибір останніх дозволить, на нашу думку, оцінити як міцність зв'язку покриттів з поверхнею целюлозовмісного субстрату, так і рівень деформативності останніх.

**Постановка завдання (цілей статті).** Головною метою цієї роботи є отримання об'єктивних даних щодо дієздатності методів захисту паперу з небіленої целюлози тонкошаровими кремнійорганічними покриттями шляхом оцінки змочуваності й механічної міцності в процесі дії механічних навантажень.

**Виклад основного матеріалу.** Ефективність захисту тонкошарових кремнійорганічних покриттів при дії експлуатаційних факторів (вібрація, ударні навантаження, пил) оцінювалась на прикладі намотувального паперу з небіленої целюлози. Товщина його ( $70 \pm 3$ ) мкм, пористість – 55 %, істинна густина –  $1,42 \text{ г/см}^3$ , руйнуюче зусилля в поперечному напрямі не менше 32 Н.

Його поверхня захищалась тонкошаровими покриттями, які формувались методом занурення в 3–5 % за об'ємом розчини у воді або водні емульсії промислових кремнійорганічних продуктів: метилсиліконату калію (МСК), поліметил (ПМГС) – і поліетилгідридсилоксанів (ПЕГС), поліметил (ПМС)- і поліетилсилоксанів (ПЕС), гідролізату етилсилікату (ГЕТС). Застосовувались також модифіковані варіанти покриттів на основі МСК і його похідних метилсилікатів міді (МСКМ) і цинку (МСКЦ) та поліалкілгідридсилоксанів (ПМГСМ і ПЕГСМ). Двошарові схеми покриттів застосовувались з адгезійним підшаром на основі гідролізату етилсилікату або метилсиліконату калію і його похідних з наступним покриттям поліалкілгідридсилоксанами. Отверднення здійснювалось шляхом термообробки при  $100\text{--}120 \text{ }^\circ\text{C}$  [11].

Ефективність захисту паперу силоксановими покриттями оцінювалась після дії вібрації (частота 5–120 Гц, прискорення до 6 g, амплітуда до 2 мм), ударних навантажень (прискорення ударів до 35 g, тривалість імпульсу 1–10 мс, кількість не менше 20 в кожному положенні з частотою не більше 80 на хвилину) і пилу [12].

У процесі випробувань обробленого паперу контролювались такі параметри [9]:

- крайовий кут змочування поверхні водою ( $\Theta$ ), град;
- зміна маси, %;

- ступінь екранування ( $X$ ), %.  $X = k(1 - \cos \Theta_x)$ , де  $\cos \Theta_x$  - косинус кута змочування поверхні водою;

- руйнуюче навантаження на розрив (у відсотках до початкової).

Крім того, у роботі запропоновано використовувати порівняльний коефіцієнт ефективності захисної дії (ПКЕЗД), який дозволяє отримати більш об'єктивну оцінку зміни міцності паперу на розрив у процесі тестувань порівняно з вихідною:

$$\text{ПКЕЗД} = \frac{(\sigma^2\pi/\sigma^1\pi)}{(\sigma^2b/\sigma^1b)}$$

де  $\sigma^2\pi$  і  $\sigma^1\pi$  – відповідно руйнівне навантаження паперу з покриттям після і до випробувань;  $\sigma^2b$  і  $\sigma^1b$  – аналогічні показники для паперу без покриття.

Об'єднуючою ознакою для експлуатаційних факторів при дії вібрації, ударних навантажень і пилу може слугувати присутність ударів різної сили та інтенсивності. Крім того, стосовно пилу, не виключено разом з останнім і фіксація його часток на поверхні паперу.

Доказом можливості такого варіанту розвитку процесів дії пилу слугують дані щодо зміни змочуваності поверхні паперу з кремнійорганічними покриттями (табл. 1). При цьому зафіксовано мінімальні значення кутів  $\Theta$  для вихідного матеріалу (44 проти 62 після дії ударних навантажень та 64 градуси – після дії вібрації).

Таблиця 1

*Зміна властивостей паперу з кремнійорганічними покриттями після дії експлуатаційних факторів*

Покриття	Вібрація		Ударні навантаження		Пил		
	Крайовий кут змочування поверхні, град	Ступінь екранування, %	Крайовий кут змочування поверхні, град	Ступінь екранування, %	Крайовий кут змочування поверхні, град	Ступінь екранування, %	Зменшення маси, %
Без покриття	64	--	62	--	44	--	5,1
МСК	81	66,7	81	66,7	74	57,3	2,0
ПМГС	83	69,4	84	70,8	79	63,9	1,9
ПЕГС	84	70,8	83	69,4	78	62,6	1,5
ПМС	82	68,0	80	65,3	80	65,3	2,9
ПЕС	80	69,3	81	66,7	81	66,7	2,2
ГЕТС	79	62,6	79	63,9	82	68,0	3,0
МСКМ	82	68,0	82	68,0	101	94,1	3,2
МСКЦ	84	70,8	81	66,7	99	91,4	3,7
ПМГСМ	83	69,4	84	70,8	86	73,5	2,2
ПЕГСМ	87	74,9	86	73,5	87	74,9	1,8
ГЕТС/ПЕГС	89	77,6	88	76,2	92	81,8	3,5
ГЕТС/ПМГС	87	74,9	86	73,5	86	73,5	3,8
МСК/ПЕГС	101	94,1	98	90,0	87	74,9	4,0
МСМ/ПЕГС	96	87,3	99	91,4	89	77,6	3,6
МСЦ/ПЕГС	104	98,1	101	94,1	101	94,1	2,6
МСКМ/ПЕГС	102	95,4	100	92,7	95	85,9	3,1
МСКЦ/ПЕГС	100	92,7	98	90,0	104	98,1	2,7

Застосування захисних покриттів неоднозначно впливає на характер їх зміни в процесі дії пилу. Вказані закономірності спостерігаються для промислових силосанів  $\Theta = 74$  (МСК) ... 82 (ГЕТС) градуси,  $X = 57,3...68,0$  %, середньоарифметичні показники становлять відповідно 78,6 град. та 63,4 % і двошарових покриттів  $\Theta = 86$  (ГЕТС/ПМГС)... 104°(МСКЦ/ПЕГС),  $X = 73,5...98,1$  %, середньоарифметичні показники 93,4 та 83,7 %.

Модифіковані покриття в цьому випадку забезпечують максимальний рівень середньоарифметичних значень порівняно з дією вібрації й ударних навантажень при тому, що вони поступаються двошаровим. Слід також зауважити наявність суттєвого перепаду (до 14°) у значеннях крайових кутів змочування та зменшення маси (до 1,4 %) при застосуванні модифікованих метилсиліконатів калію та поліалкілглідрилсилосанів.

Порівняльна оцінка за рівнем середньоарифметичних даних змочуваності показала, що ефективність застосування досліджуваних покриттів, за винятком модифікованих при дії пилу, можливо проілюструвати таким рядом: дія вібрації ( $\Theta = 81,0^\circ \dots 97,0^\circ$ ,  $X = 66,7 \dots 88,6 \%$ ) > ударні навантаження ( $\Theta = 81,4^\circ \dots 95,7^\circ$ ,  $X = 67,2 \dots 86,8 \%$ ) > пил ( $\Theta = 78,6^\circ \dots 93,4^\circ$ ,  $X = 63,4 \dots 83,7 \%$ ). Для всіх варіантів тестувань виявлена незаперечна перевага двошарових покриттів.

Серед останніх можливо виділити склади на основі метилсилікатів цинку й міді в поєднанні з поліетилгідридсилоксанами. Значення крайових кутів змочування таких покриттів після випробувань в межах  $95\text{--}104^\circ$ . Найменш ефективного застосування промислових кремнійорганічних продуктів без додаткового модифікування. Кути  $\Theta$  покриттів з їх застосуванням становлять від 74 до 82 градусів.

Дія перерахованих експлуатаційних факторів різною мірою впливає і на механічну міцність при розриві в поперечному напрямку вихідного паперу. Найменш міцним він стає після дії пилу (на 27,3 %). Вібрація несуттєво (0,4 %) зменшує, а ударні навантаження підвищують (0,2 %) показники міцності (табл. 2).

Таблиця 2

*Руйнівне зусилля на розрив у поперечному напрямку (% до вихідного) паперу з кремнійорганічними покриттями після дії експлуатаційних факторів*

Покриття	Вібрація		Ударні навантаження		Пил	
	Руйнівне зусилля	ПКЕЗД	Руйнівне зусилля	ПКЕЗД	Руйнівне зусилля	ПКЕЗД
Без покриття	99,6	--	100,2	--	72,7	--
МСК	124,2	0,64	131,8	0,58	82,8	0,96
ПМГС	101,6	0,95	103,4	0,94	82,4	1,16
ПЕГС	102,1	0,97	102,5	0,96	81,7	1,21
ПМС	100,3	0,97	100,7	0,96	79,1	1,23
ПЕС	98,2	1,17	97,6	1,31	75,9	1,52
ГЕГС	100,2	1,06	100,4	1,18	89,7	1,18
МСКМ	111,6	0,91	112,4	0,90	77,8	1,30
МСКЦ	110,4	0,92	110,2	0,92	84,6	1,20
ПМГСМ	104,1	0,92	106,3	0,90	84,1	1,14
ПЕГСМ	101,4	1,00	110,6	0,91	83,5	1,21
ГЕГС/ПЕГС	101,2	1,05	102,0	1,04	83,1	1,27
ГЕГС/ПМГС	101,6	1,06	101,8	1,06	81,2	1,32
МСК/ПЕГС	106,2	1,04	108,6	1,02	78,6	1,41
МСМ/ПЕГС	105,8	0,84	107,4	0,94	81,7	1,09
МСЦ/ПЕГС	104,9	1,09	106,2	0,95	88,1	1,29
МСКМ/ПЕГС	106,1	0,87	107,2	0,86	80,5	1,14
МСКЦ/ПЕГС	105,9	1,10	106,4	1,10	91,4	1,28

Застосування захисних покриттів на базі вихідних кремнійорганічних сполук по-різному впливає на міцність паперу в процесі випробувань. Максимальною, на рівні 97,6 (ПЕС) ... 131,8 (МСК) від вихідної, вона залишається після дії ударних навантажень. Значення ПКЕЗД при цьому становить 0,58 (МСК) ... 1,31 (ПЕС).

Дія вібрації супроводжується зміною цих показників відповідно до значень 98,2 (ПЕС) ... 124,2 (МСК) та 0,64...1,17. Максимальне зменшення міцності зафіксовано при дії пилу. Залишкова міцність паперу становить 75,9 (ПЕС) ... 89,7 % (ГЕГС), а ПКЕЗД знаходиться в межах 0,96 (МСК) ... 1,52 (ПЕС).

Аналогічні закономірності спостерігаються й у випадку застосування модифікованих складів. Різниця спостерігається тільки в кількісних показниках. Зменшується їх верхня межа до рівня 111,6 % (МСКМ, вібрація) ... 112,4 % (той самий склад, ударні навантаження, та зростає нижня 101,4% (ПЕГСМ, вібрація) ... 106,3 % (ПМГС, ударні

навантаження). Показники ПКЕЗД перебувають на рівні 0,91...1,00 (вібрація) та 0,90...0,92 (ударні навантаження).

Дія пилу супроводжується більш радикальною зміною зазначених параметрів. Руйнівне зусилля зменшується до рівня 77,8 (МСКМ) ... 84,6 % (МСКЦ). Значення ПКЕЗД при цьому залишається в межах 1,30 (МСКМ) ... 1,14 (ПМГСМ). Зіставлення значень параметрів міцності показує, що різниця може сягати 20 % і більше.

Застосування двошарових покриттів дозволяє ще більше нівелювати відмінності в частині ефективності їх використання за рівнем мінімальних значень контрольованих показників. Так, після дії ударних навантажень, залишкове руйнівне зусилля на розрив паперу перебуває на рівні 101,8 (ГЕГС/ПМГС) ... 108,6 % (МСК/ПЕГС), а показник ПКЕЗД 0,86 (МСКМ/ПЕГС) ... 1,10 (МСКЦ/ПЕГС) значення їх після вібрації перебувають практично в тому ж діапазоні.

Дія пилу характеризується більш суттєвим рівнем деструкції. Залишкова міцність не перевищує 78,6 (МСК/ПЕГС) ... 91,4 % (МСКЦ/ПЕГС) від початкової при значеннях ПКЕЗД на рівні 1,09 (МСМ/ПЕГС) ... 1,41 (МСК/ПЕГС).

Таким чином, серед досліджуваних експлуатаційних факторів, найбільша змочувальність водою поверхні паперу з тонкошаровим силіконовим покриттям та зменшення його механічної міцності спостерігається після динамічної дії пилу.

**Висновки відповідно до статті.** Дана кількісна оцінка стійкості паперу з небіленої целюлози, захищеної тонкошаровими кремнійорганічними покриттями з різними вуглеводневими радикалами та функціональними групами біля атома кремнію до дії вібрації, ударних навантажень та пилу за показниками змочуваності поверхні водою та міцності на розрив. Показано, що найбільша гідрофілізація спостерігається при дії пилу. Застосування модифікованих і двошарових силіконових покриттів дозволяє забезпечити високі та стабільні водовідштовхуючі властивості поверхні паперу та його міцність в ході дії досліджуваних експлуатаційних факторів.

Отримані результати можуть становити практичний інтерес у частині застосування розроблених складів кремнійорганічних тонкошарових покриттів для захисту паперу та розробки пакувальних матеріалів на його основі, а також шаруватих наповнювачів для конструкційних композитів.

#### Список використаних джерел

1. Дані щодо стану світового ринку целюлози [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.pulpandpaperline.com>.
2. Кремнійорганічні покриття для захисту матеріалів з різним ступенем деформативності / Д. І. Аршинніков, В. А. Свідерський, К. В. Осауленко, Н. В. Мережко // International Scientific and Practical Conference “WORLD Science”. – 2016. – № 1 (5), Vol. 1. – January. – С. 10–15.
3. Астратов М. С. Технологія переробки паперу і картону. Ч. 1 / М. С. Астратов, М. Д. Гомеля, О. М. Мовчанюк. – К. : НТУУ «КПІ», 2007. – 231 с.
4. Карякина М. И. Испытание лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М. : Химия, 1988. – 272 с.
5. Коптюх Л. А. Нові технології і процеси створення пакувального паперу та фільтрувального картону для харчової промисловості : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.1722 / Л. А. Коптюх. – К., 1998. – 33 с.
6. Коропиков М. Г. К вопросу о гидрофобизации целлюлозных материалов кремнийорганическими соединениями / М. Г. Коропиков, Н. В. Калугин // Химия и практическое применение кремнийорганических соединений. – 1961 – Вып. 6. – С. 328–334.
7. Мережко Н. В. Властивості та структура наповнених кремнійорганічних покриттів / Н. В. Мережко. – К. : Київ. держ. торг.-екон. ун-т, 2000. – 256 с.
8. Мостика К. В. Формування властивостей водонепроникних паперових пакувальних матеріалів для кондитерських виробів : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15 / К. В. Мостика. – К., 2013. – 21 с.

9. *Застосування кремнійорганічних сполук для захисту целюлозовмісних матеріалів* / Л. А. Нудченко, В. А. Свідерській, К. В. Осауленко, Н. В. Мережко // Вісник НТУУ «Київський політехнічний інститут». Серія: хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2015. – № 1 (14). – С. 79–82.

10. *Пащенко А. А. Кремнийорганические покрытия для защиты от биокорозии* / А. А. Пащенко, В. А. Свидерский. – К. : Техника, 1988. – 136 с.

11. *Примаков С. П. Технологія паперу і картону* / С. П. Примаков, В. Н. Барбаш. – К. : ЕКМО, 2002. – 396 с.

### References

1. Dani shhodo stanu svitovogo rynku celjulozy [Data on the state of the world market for cellulose]. (n.d.). *www.pulpanpaperonline.com*. Retrieved from <http://www.pulpanpaperonline.com>.

2. Arshynnikov, D. I., Sviderskyi, V. A., Osaulenko, K. V. & Merezko, N. V. (2016). Kremnii-orhanichni pokryttia dlia zakhystu materialiv z riznym stupenem deformatyvnosti [Organosilicon coatings for the protection of materials with varying degrees of deformability] International Scientific and Practical Conference “WORLD SCIENCE”, 1 (5), 1, 10–15. Retrieved from <http://archive.ws-conference.com/wp-content/uploads/1281.pdf> [in Ukrainian].

3. Astratov, M. S., Homelia, M. D., Movchaniuk, O. M. (2007). *Tekhnolohiia pererobky paperu i kartonu [Technology of paper and cardboard processing]*. Kyiv: NTUU «KPI» [in Ukrainian].

4. Kariakina, M. I. (1988). *Ispytanie lakokrasochnykh materialov i pokrytii [Paint Testing varnish materials and coatings]*. Moscow: Khimiia [in Russian].

5. Koptiukh, L. A. (1998). Novi tekhnolohii i protsesy stvorennia pakuvalnoho paperu ta filtrvalnoho kartonu dlia kharchovoi promyslovosti [New technologies and processes for the production of packaging paper and filter carton for the food industry]. (*Extended abstract of Doctor's thesis*). NTU, Kyiv [in Ukrainian].

6. Koropikov, M. G. & Kalugin, N. V. (1961). K voprosu o gidrofobizatsii tseliuloznykh materialov kremniorganicheskimi soedineniiami [On the question of hydrophobization of cellulosic materials by organosilicon compounds]. *Khimiia i prakticheskoe primeneniye kremniorganicheskikh soedinenii – Chemistry and practical application of organosilicon compounds*, 6, 328–334 [in Russian].

7. Merezko, N. V. (2000). *Vlastyvosti ta struktura napovnenykh kremniiorganichnykh pokryttiv [Properties and structure of filled silicon organic coatings]*. Kyiv: Kyivskiy derzhavnyi torhovelno-ekonomichnyi universytet [in Ukrainian].

8. Mostyka, K. V. (2012). Formuvannia vlastyvostei vodopronykykh paperovykh pakuvalnykh materialiv dlia kondyterskykh vyrobiv [Formation of properties of water-permeable paper packing materials for confectionery products]. (*Extended abstract of candidate's thesis*). Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv [in Ukrainian].

9. Nudchenko, L. A., Sviderskiy, V. A., Osaulenko, K. V. & Merezko, N. V. (2015). Zastosuvannia kremniiorganichnykh spolkuk dlia zakhystu tseliulozovmisnykh materialiv [Energy flow parameters in operating tools of rotary-pulse apparatus]. *Visnyk NTUU «Kyivskiy politekhnichnyi instytut». Seriya: Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia – Bulletin of the NTUU “KPI”. Series: Chemical engineering, ecology and resource saving*, 1 (14), 79–82 [in Ukrainian].

10. Pashchenko, A. A. (1998). *Kremniorganicheskie pokrytiia dlia zashchity ot biokorozii [Organosilicon coatings for protection against biocorrosion]*. Kyiv: Tekhnika [in Ukrainian].

11. Prymakov, S. P., Barbash, V. N. (2002). *Tekhnolohiia paperu i kartonu [Technology of paper and cardboard]*. Kyiv: EKMО [in Ukrainian].

UDC 676.24

*Kseniia Osaulenko, Nina Merezko*

## THE DURABILITY OF PAPER WITH THIN SILICONE COATINGS TO THE ACTION OF MECHANICAL LOADINGS

**Urgency of the research.** Specific features of the composition and structure of cellulosic paper limit the possibilities of its wide use in the composition of packaging and composite materials.

**Target setting.** Existing ways to improve the properties of cellulose-containing materials by treating them with chemical compounds of different classes do not always give the desired result. This is especially true for increasing the resistance of paper to the action of mechanical loads with different energy spectra.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Public publications were publicly reviewed, published materials, and it was revealed that the problems addressed in the article needed new ways of solving this issue.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Use of compounds that can chemically interact with the surface of cellulose and provide a controlled hydrophilic-hydrophobic balance.

**The research objective.** Obtaining objective data on the effectiveness of methods for protecting unbleached pulp paper with fine-gloss silicone coatings, by evaluating the wettability and mechanical strength during the action of mechanical loads.

**The statement of basic materials.** The work is devoted to the evaluation of the efficiency of the use of thin-skinned silicone coatings, with different carbohydrate radicals and functional groups near the silicon atom, to protect unbleached cellulose paper from vibration, shock loads, and dynamic dust action.

**Conclusions.** The results obtained may be of practical interest in the field of the use of the developed compositions of organosilicon thin-chalk coatings for the protection of paper in the field of development of packaging materials based on it, as well as ball joint fillers for structural composites.

**Keywords:** paper; fine-gloss silicone coatings; vibration; shock loads; dust; wettability; mechanical power.

Table: 2. References: 11.

УДК 676.24

Ксения Осауленко, Нина Мережко

## СТОЙКОСТЬ БУМАГИ С ТОНКОШАРОВЫМИ КРЕМНИЙОРГАНИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ К ДЕЙСТВИЮ МЕХАНИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

**Актуальность темы исследования.** Специфические особенности состава и структуры целлюлозосодержащей бумаги ограничивают возможности ее широкого использования в составе упаковочных и композиционных материалов.

**Постановка проблемы.** Существующие способы улучшения свойств целлюлозосодержащих материалов путем их обработки химическими составами разных классов не всегда дают желаемый результат. Особенно это касается повышения стойкости бумаги к действию механических нагрузок с разным энергетическим спектром.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены публикации в открытом доступе, опубликованные материалы, и выявлено, что рассматриваемые в статье проблемы нуждаются в новых путях решения данного вопроса.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Использование соединений, которые смогут химически взаимодействовать с поверхностью целлюлозы и обеспечить контролируемый ее гидрофильно-гидрофобный баланс.

**Постановка задачи.** Получение объективных данных, относительно действенности методов защиты бумаги из небеленой целлюлозы тонкошаровыми кремнийорганическими покрытиями, путем оценки смачиваемости и механической прочности в процессе действия механических нагрузок.

**Изложение основного материала.** Работа посвящена оценке эффективности использования тонкошаровых кремнийорганических покрытий, с разными углеводными радикалами и функциональными группами возле атома кремния, для защиты бумаги из небеленой целлюлозы от воздействия вибрации, ударных нагрузок, динамического действия пыли.

**Выводы в соответствии со статьей.** Полученные результаты могут представлять практический интерес в области использования разработанных составов кремнийорганических тонкошаровых покрытий для защиты бумаги в области разработки упаковочных материалов на ее основе, а также, шароватых наполнителей для конструкционных композитов.

**Ключевые слова:** бумага; тонкошаровые кремнийорганические покрытия; вибрация; ударные нагрузки; пыль; смачиваемость; механическая мощность.

Табл.: 2. Библ.: 11.

**Осауленко Ксения Валентиновна** – аспирант кафедры товароведения та митної справи, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Осауленко Ксения Валентиновна** – аспирант кафедры товароведения и таможенного дела, Киевский национальный торговельно-экономический университет (ул. Кіото, 19, г. Киев, 02156, Україна).

**Osaulenko Kseniia** – PhD student of Commodity Science and Customs Department, Kyiv National Trade and Economics University (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** skv.07@meta.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0522-3006>

**Мережко Ніна Василівна** – доктор технічних наук, професор, академік Української технологічної академії, завідувач кафедри товароведения та митної справи, Київський Національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Мережко Нина Васильевна** – доктор технических наук, профессор, академик Украинской технологической академии, заведующая кафедрой товароведения и таможенного дела, Киевский Национальный торговельно-экономический университет (ул. Кіото, 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Merezhko Nina** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of Ukrainian Technology Academy, Head of the Department of Commodity Science and Customs Department, Kyiv National Trade and Economics University (19 Kyoto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** neprod2@knteu.keiv.ua

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-3077-9636>

*Stanislav Deyneka*

## THE SOWING OF VEGETABLE GEMINATED GRAIN USING A HYDROSEEDER

**Urgency of the research.** The article deals with the problem of early harvest of vegetable crops without the additional use of herbicides and other chemicals, since all this reduces the nutritional value and the usefulness of early vegetables. Transportation of vegetables from the southern areas requires additional costs affecting the price of early products.

**Target setting.** In order to improve the quality of vegetables, as well as to reduce the time of appearance of even and level sprouts, the method of sowing vegetable geminated grain with the help of a hydroseeder was offered.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The scientific researches of Cherkashchenko H. M., Deshko V. I., Konoval A. A., Kuzmenko L. I., Yashchuk D. A., Olkhovsky M. F., Bakum M. V., Munchisky Yu. A., Klimchuk A. D., Boyko V. B., Trufliak E. V., Yarkin D. S. are devoted to the design of the sowing machine to sow germinated seeds.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** However, the proposed designs of sowing apparatus are not suitable for sowing germinated of light vegetable sprouted seeds, since the starch in the seed peel upon contact with water leads to the adhesion of seeds to the parts of the sowing apparatus. It is the reason of seeds and sprouts damage during sowing, low field germination, and as a result, inefficiency of using the sowing apparatus.

**The research objective.** The purpose of the article is to describe the structure of the designed hydroseeder, its technical characteristics and operating principles; present the results of the study how the concentration of germinated vegetable seeds in working tanks influences the seeding evenness.

**The statement of basic materials.** The author of the article developed the construction of a hydroseeder in which the process of seeds preparation for sowing and the dosed sowing of seeds by aerohydraulic method together with the liquid without sprouts damage take place. The article deals with the construction of a hydroseeder and the principles of its operation. The proposed hydroseeder is especially effective for sowing of moist and germinated grain on the household plots, in the country gardens, in greenhouses when growing vegetable crops and medicinal plants. This hydroseeder is multifunctional. It can be used for direct watering of plant in a row with a small water dose or with a nourient solution. The designed hydroseeder also allows to provide presowing preparation of the seeds namely to aerify (to bubble) seeds.

The results of the research how the concentration of vegetable geminated grain in working tanks influences the seeding evenness were presented.

**Conclusions.** The use of a hydropower allows you to create normal conditions for germination of seeds and getting early sprouts in a short time, which is an important task in the technology of early vegetables growing. Otherwise, the index of field similarity of the seeds decreases, the required density of plants is not ensured, the output of standard products is reduced.

The preliminary tests of the hydroseeder have shown that its use does not only shorten the time between the seeding process and the emergence, but also economizes seeds. This is very important in modern economic conditions, when vegetable seeds are quite expensive.

**Keywords:** vegetables; sowing machine; hydroseeder; germinated seeds; research.

Fig.: 5. Table: 3. References: 6.

**Target setting.** The location of Chernihiv region in the north-eastern part of our state does not allow to get early harvests of vegetables. The quality of imported early ripe vegetables is low due to the use of herbicides and chemicals. Early vegetables do not have useful properties needed by the human body, but on the contrary can harm people [6]. Transportation of early-ripe vegetables from the southern regions requires additional costs, affecting their prices.

In order to improve the quality of vegetables, to reduce the time for the even and level sprouts and to get delicacies of the season the method of sowing vegetable geminated grain with the help of a hydroseeder was offered.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The scientific researches of Cherkashchenko H. M., Deshko V. I., Konoval A. A., Kuzmenko L. I., Yashchuk D. A., Olkhovsky M. F., Bakum M. V., Munchisky Yu. A., Klimchuk A. D., Boyko V. B., Trufliak E. V., Yarkin D. S. are devoted to the design of the sowing machine to sow germinated seeds.

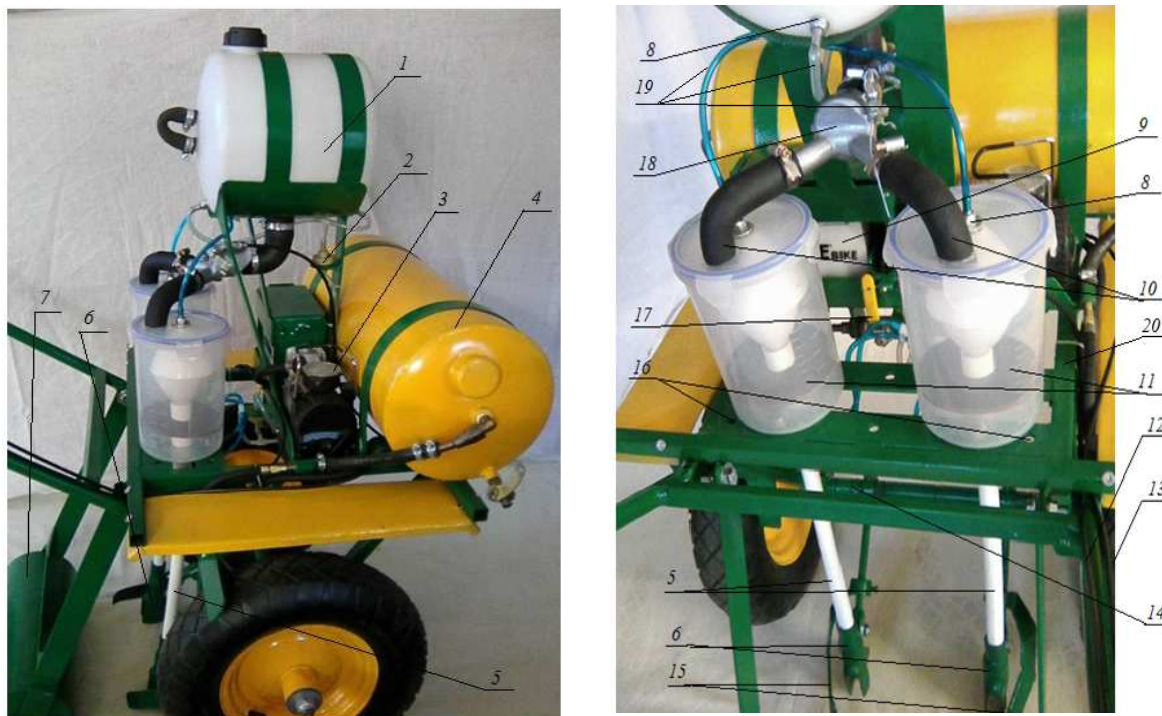
**Uninvestigated parts of general matters defining.** However, the proposed designs of the sowing apparatus are not suitable for sowing of light vegetable sprouted seeds, since the starch in the seed peel upon contact with water leads to the adhesion of seeds to the parts of the sowing apparatus. It is the reason of seeds and sprouts damage during sowing, low field germination, and as a result, inefficiency of using the sowing apparatus [4].

**The research objective.** The purpose of the article is to describe the structure of the designed hydroseeder, its technical characteristics and operating principles; present the results of



the study how the concentration of germinated vegetable seeds in working tanks influences the seedling evenness.

**The statement of basic materials.** The author of the article developed the design of a hydroseeder in which the process of seed preparation takes place. This hydroseeder allows to do dosed sowing of seeds by aerohydraulic method together with a liquid without seeds damage (Fig. 1).



*Fig. 1. Hydroseeder construction*

This hydroseeder contains a compressor mounted on a frame with wheels, driven by accumulator battery; a receiver with an air cock to control air pressure in the working tanks. The bin is filled with water through the inlet placed above the frame. It is possible to add fertilizers, herbicides and germinated seeds. Bubbles of air blend the mixture through the injectors.

Then the mixture by gravity enters the throttle valve through the nozzle, where it is proportioned and distributed into two ducts and flows into the working tanks. In the working tanks the seeds bubble, and, due to the air pressure changing the mixture is divided into portions and passes through the trap along the grain conductor to the coulters that sow the seeds in the furrow.

After that the coverers located behind the coulters, cover the furrow, and the roller consolidates the soil, providing retention of moisture.

The hydroseeder consists of a frame 20 with wheels on the axis 14, there is a bin 1 on the top of the brackets, a safety valve 2. There is an accumulator battery 9 on the frame platform, a compressor 3, a receiver 4, an air cock 17, a rope of the air crane 12, connecting air ducts 19, injectors 8. A throttle valve 18 with nozzles 10 are connected to the bin. The nozzles are mounted into the covers of the working tanks 11 and the cable is controlled by the valve 13. The working tanks are attached to the frame through the holes 16. Grain-conductors 5 are linked with the coulters 6 and attached to the axis with the help of brackets with the coverers 15. The roller 7 is attached to the frame behind the coverers.

The process of seeding of germinated grain by a hydroseeder is as follows: a bin placed on a frame 20 is filled with the water and fertilizers through the inlet. Then the germinated seeds are put into the bin. After the hydroseeder enters the stint, using the lever located on the steering

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

wheel, one can open the air cock 17 for supplying air into the bin to mix and prevent the seed settling on the bottom of the bin, as well as in the working tanks 11.

The water and seed mixture is brought partially from the bin 1 through the nozzles 10 and throttle valve 18 into the working tanks 11. This mixture is bubbled by the air from the injectors 8. The air enters the working tanks through perforated bottoms and raises the seeds to the traps connected by seed lines 5 with the coulters 6. Changing the air pressure from 0.5 to 2 atm. And regulating the gap of the throttle valve, one can dose the amount of seed mixture coming from the bin. Upon completion of the furrow we stop the supply of the mixture through the throttle valve and reduce the air pressure to the minimum.

There is the technical characteristics of the hydroseeder in Table 1.

Table 1

*Technical characteristics of the hydroseeder*

accumulator battery	12V9Ah
compressor, l/min	35/40
tank volume, l	6,3
receiver tank volume,	20,5
Hydroseeder volume, l	1,8
Grain-conductor diameter, mm	16
Number of coulters, pcs.	2
depth of sowing, cm	2-4
working width, cm	65
row width, cm	15-35
weight, kg	53

The proposed hydroseeder is especially effective for sowing of moist and germinated grain on the household plots, in the country gardens, in greenhouses when growing vegetable crops and medicinal plants.

This hydroseeder is multifunctional. It can be used for direct watering of plant in a row with a small water dose or with a nutrient solution. The designed hydroseeder also allows to provide presowing preparation of the seeds namely to aerify ( to bubble) seeds.

The research of the sowing process of carrots and radish germinated seed was conducted to check the work of the hydroseeder (Fig. 2).



*Fig. 2. Hydro seeding of the carrots in the experimental field*

Laboratory research was conducted to determine how the concentration of vegetable germinated grain in working tanks influences the seeding evenness.

The calculation was done on the basis of the sowing rates of dry vegetable seeds (Fig. 3). According to the rates the amount of pre-soaked and germinated carrot and radish seeds per one hundredth of a hectare was calculated (Table 2, Fig. 4).



Fig. 3. Calculation of seeds sowing rates

Table 2

*Sowing rate for dry, soaked and germinated vegetable seeds per one hundredth of a hectare*

Crop	Dry seeds, gr./one hundredth of a hectare	Soaked seeds, gr./one hundredth of a hectare	Germinated seeds, gr./one hundredth of a hectare
Carrot	4 - 6	3, 2 – 5, 2	2, 9 – 4, 9
Radish	15 - 20	11, 8 – 16, 8	10, 2 – 15, 5

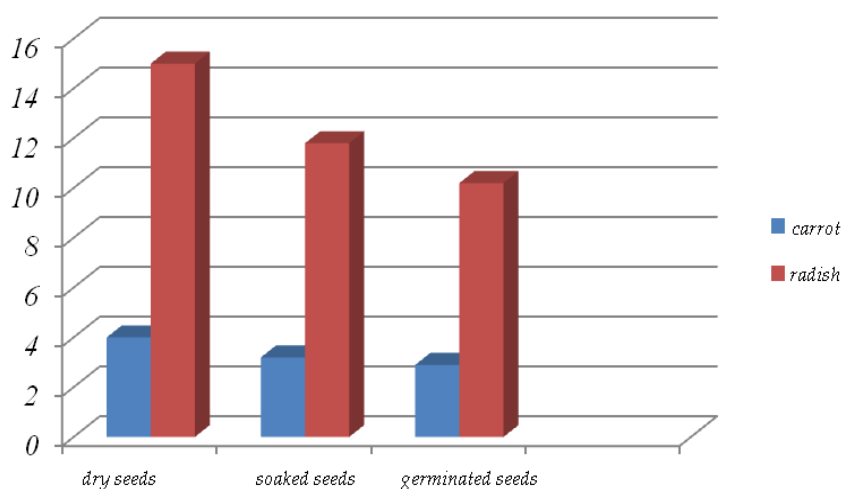


Fig. 4. Comparative charts of the sowing rates of dry, soaked and germinated seeds

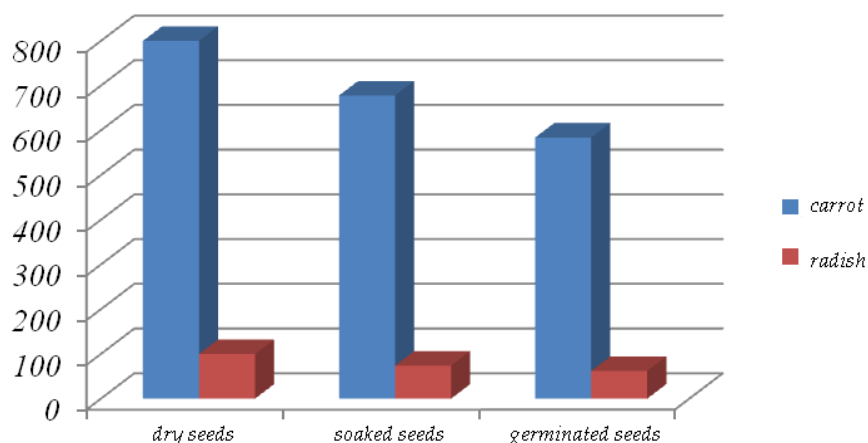
Thus, the calculations have shown that seed soaking and germination do not only shorten the time of emerging crops, but also considerably save expenses for seeds.

In order to study the evenness of seeding, the density of plants was taken into account. According to the standards: for carrots - 900-1500 pcs/one hundredth of a hectare, for radish – 400-1000 pcs/one hundredth of a hectare (Table 3). The conducted research and calculations showed the following results (Fig. 5).

Table 3

*Density of plants sown with dry, soaked and germinated vegetable seeds per one hundredth of a hectare*

Crop	Dry seeds, pcs/ one hundredth of a hectare	Soaked seeds, pcs/ one hundredth of a hectare	Geminated seeds, pcs/one hundredth of a hectare
Carrot	800 - 900	678 - 778	585 - 685
Radish	100 - 200	74 - 174	62 - 162



*Fig. 5. Comparative charts of plant density sown by dry, soaked and germinated vegetable seeds*

Less concentration of soaked and germinated seeds in the working tanks of the hydroseeder increases the seeding evenness and subsequently makes unnecessary thinning of plants.

Thus, seeding with soaked and germinated seeds can reduce the plant density, improve the seeding evenness, which positively influences the future harvest.

**Conclusions.** The use of the hydroseeder allows to create normal conditions for seeds germination in a short time, which is an important task of the technology of early vegetables growing. Otherwise, the seeds germination index lowers, the required density of plants is not ensured, the output of standard products is reduced.

The preliminary tests of the hydroseeder have shown that its use does not only shorten the time between the seeding process and the emergence, but also economizes seeds. This is very important in modern economic conditions, when vegetable seeds are quite expensive.

**References**

1. Bakum, M. V. & Yaschuk, D. A. (2013). Rezultaty porivnyalnykh polovykh doslidzen sposobiv sivby nasinnia ovochevykh kultur [Results of comparative field research of methods of vegetable seeds sowing]. *Visnyk of KhNTUSG – Bulletin of KhNTUSG*, 135, 374–379 [in Ukrainian].
2. Davydov, E. I. & Myuripal, M. V. (1991). Hydroseialka LHAU dlia ovoshchnykh kultur. [Hydroseeder of LHAU for vegetable crops]. *Traktory i selskokhoziaystvennye mashyny – Tractors and agricultural machines*, 6, 37–38 [in Russian].
3. Deyneka, S. M., Aniskevich, L. V. & Kushnarov, S. A. (2017). *Dozator-obmezhuvach hidrovysivayuchoho aparatu [Dispenser limiter of hydroseeder]*. Patent Ukrainy na korysnu model № 118028. - Patent of Ukraine for Utility Model No. 118028 [in Ukrainian].
4. Kushnarev, S. A., Deineka, S. M., Mahmudov, I. I. & Ivanov, E. S. (2016). *Hidrovysivayuchyiy aparat dlia vysivu dribnonasinnyevykh ovochevykh kultur. [Hydroseeder for sowing small seed vegetable crops]*. Patent Ukrainy na korysnu model № 111666 – Patent of Ukraine for Utility Model No. 111666 [in Ukrainian].
5. Truflyak, E. V., Kurchenko, N. YU. & Yarkyn, D. S. (2014). Izuchenie hidroposeva ovoshchnykh kultur s pryomenenyem elektroaktyvyrovanoj vody. [Investigation of hydroseeding of

vegetable crops using electroactivated water]. *Nauchnyy zhurnal KubHAU – Academic journal of the Kuban State University of Agriculture*, 96 (02), 66–79 [in Russian].

6. Tseplyaev, A. N., Rusyaeva, E. T. & Tseplyaev, V. A. (2010). Optimizatsiia konstruktivnykh parametrov pnevmaticheskogo soshnika dlia poseva prorashchennykh semian bakhchevykh kultur [Optimization of constructive parameters of pneumatic coulter for germinated seeds sowing of melon crops]. *Izvestiia Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie – The news of the Nizhnevolzhsk Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*, 3 (19), 183–187 [in Russian].

### References (in language original)

1. Бакум М. В. Результаты порівняльних польових досліджень способів сівби насіння овочевих культур / М. В. Бакум, Д. А. Яцук // Вісник ХНТУСГ. – 2013. – Вип. 135. – С. 374–379.

2. Давидов Е. И. Гидросеялка ЛГАУ для овощных культур / Е. И. Давидов, М. В. Мюйрипеал // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1991. – № 6. – С. 37–38.

3. Патент України на корисну модель № 118028. Дозатор-обмежувач гідровисіваючого апарату / С. М. Дейнека, Л. В. Аніскевич, С. А. Кушнар'єв. – Опубл. 25.07.2017, Бюл. № 14.

4. Патент України на корисну модель № 111666. Гідровисіваючий апарат для висіву дрібнонасіненних овочевих культур / С. А. Кушнар'єв, С. М. Дейнека, І. І. Махмудов, Є. С. Іванов. – Опубл. 25.11.2016, Бюл. № 22.

5. Труфляк Е. В. Изучение гидропосева овощных культур с применением электроактивированной воды / Е. В. Труфляк, Н. Ю. Курченко, Д. С. Яркін // Научный журнал КубГАУ. – 2014. – № 96 (02). – С. 66–79.

6. Цепляев А. Н. Оптимизация конструктивных параметров пневматического сошника для посева пророщенных семян бахчевых культур / А. Н. Цепляев, Е. Т. Русяева, В. А. Цепляев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2010. – № 3 (19). – С. 183–187.

УДК 631.331

Станіслав Дейнека

## ВИСІВ ПРОРОЩЕНОГО НАСІННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОСІВАЛКИ

**Актуальність теми дослідження.** У статті розглянуто проблему отримання раннього врожаю овочевих культур, без додаткового застосування гербіцидів та інших хімічних засобів, оскільки все це зменшує поживну цінність і користь ранніх овочів. Транспортування овочів з південних областей потребує додаткових витрат, що впливає на ціну ранньої продукції.

**Постановка проблеми.** З метою підвищення якості овочів, а також зменшення часу появи дружніх сходів, отримання ранньої продукції, запропоновано посів пророщеним насінням з використанням гідросівалки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробленню висівного апарату для висіву пророщеного насіння присвячені наукові дослідження Г. М. Черкаценько, В. І. Деико, О. О. Коновал, Л. І. Кузьменко, Д. А. Яцук, М. Ф. Ольховський, М. В. Бакум, Ю. О. Манчський, О. Д. Клімчук, В. Б. Бойко, Є. В. Труфляк, Д. С. Яркін та ін.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Однак запропоновані конструкції висівних апаратів не підходять для висіву пророщеного легковагового насіння овочевих культур, оскільки наявність крохмалю в шкірці насіння при контакті з водою, призводить до налипання насіння на деталях висівного апарату. Це призводить до травмування насіння і його паростків при висіві, низькій польовій схожості і, як наслідок, до неефективності використання висівних апаратів.

**Постановка завдання.** Описати будову сконструйованої гідросівалки, її технічні характеристики та принцип роботи. Подати результати дослідження щодо визначення впливу концентрації пророщеного насіння овочевих культур у робочих ємностях на рівномірність висіву.

**Виклад основного матеріалу.** Розроблена конструкція гідросівалки, в якій проходить процес підготовки насіння до висіву та дозований висів насіння аерогідравлічним способом разом з рідиною без пошкодження паростків. У статті розглянуто будову гідросівалки та принцип її роботи. Запропонована гідросівалка особливо ефективна при застосуванні висіву зволоженого та пророщеного насіння на присадибних, дачних ділянках, у теплицях при вирощуванні овочевих культур та лікарських рослин і є багатofункціональною. Вона може бути використана для поливу безпосередньо культури в рядку малою дозою води або підживлюючим розчином. Розроблена гідросівалка дозволяє також здійснювати передпосівну підготовку насіння – здійснювати процес аерування (барботування) насіння. Надані результати дослідження щодо визначення впливу концентрації пророщеного насіння овочевих культур у робочих ємностях на рівномірність висіву.

**Висновки відповідно до статті.** Використання гідросівалки дозволяє створити нормальні умови для пророщення насіння і отримання сходів в стислі терміни, що являється важливою задачею в технології вирощування ранніх овочів. Бо інакше знижується показник польової схожості насіння, не забезпечується необхідна густина рослин, знижується вихід стандартної продукції.

Проведені попередні дослідження гідросівалки показали, що її використання не тільки зменшує термін між процесом висіву та появою сходів, а і сприяє суттєвій економії насіння. Це є дуже важливим в сучасних економічних умовах, коли насіння овочевих культур є досить дорогим.

**Ключові слова:** овочі; висівний апарат; гідросівалка; пророщене насіння; дослідження.

Рис.: 5. Табл.: 2. Бібл.: 6.

УДК 631.331

Станіслав Дейнека

## ВЫСЕВ ПРОРОЩЕННЫХ СЕМЯН ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР С ПОМОЩЬЮ ГИДРОСЕЯЛКИ

**Актуальность темы исследования.** В статье рассматривается проблема получения раннего урожая овощных культур, без дополнительного применения гербицидов и других химических средств, поскольку все это уменьшает питательную ценность и пользу ранних овощей. Транспортировка овощей из южных областей требует дополнительных затрат, влияющих на цену ранней продукции.

**Постановка проблемы.** С целью повышения качества овощей, а также уменьшения времени появления дружных всходов, получение ранней продукции, предложено посев пророщенных семян с использованием гидросеялки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Разработке высевального аппарата для посева пророщенных семян посвящены научные исследования Г. М. Черкащенко, В. И. Дешко, О. А. Коновал, Л. И. Кузьменко, Д. А. Яцук, Н. Ф. Ольховский, Н. В. Бакум, Ю. А. Манчиский, А. Д. Климчук, В. Б. Бойко, Е. В. Труфляк, Д. С. Яркин и др.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Однако предложенные конструкции высевальных аппаратов не подходят для посева пророщенных легковесных семян овощных культур, поскольку наличие крахмала в кожуре семян при контакте с водой, приводит к налипанию семян на деталях высевального аппарата. Это приводит к травмированию семян и его ростков при посеве, низкой полевой всхожести и, как итог, к неэффективности использования высевальных аппаратов.

**Постановка задачи.** Описать строение сконструированной гидросеялки, ее технические характеристики и принцип работы. Представить результаты исследования по определению влияния концентрации пророщенных семян овощных культур в рабочих емкостях на равномерность высева.

**Изложение основного материала.** Автором статьи разработана конструкция гидросеялки, в которой проходит процесс подготовки семян к посеву и дозированный посев семян аэрогидравлическим способом вместе с жидкостью без повреждения ростков. В статье рассмотрено строение гидросеялки и принцип ее работы. Предложенная гидросеялка особенно эффективна при применении высева увлажненных и пророщенных семян на приусадебных, дачных участках, в теплицах при выращивании овощных культур и лекарственных растений, и является многофункциональной. Она может быть использована для полива непосредственно культуры в ряду малой дозой воды или подпитывающим раствором. Разработанная гидросеялка позволяет также осуществлять предпосевную подготовку семян – осуществлять процесс аэрирования (барботирования) семян. Представлены результаты исследования по определению влияния концентрации пророщенных семян овощных культур в рабочих емкостях на равномерность высева.

**Выводы в соответствии со статьей.** Использование гидросеялки позволяет создать нормальные условия для прорастания семян и получения всходов в сжатые сроки, что является важной задачей в технологии выращивания ранних овощей. Потому что, иначе снижается показатель полевой всхожести семян, не обеспечивается необходимая густота растений, снижается выход стандартной продукции.

Проведенные предварительные исследования гидросеялки показали, что ее использование не только уменьшает срок между процессом высева и появлением всходов, а и способствует существенной экономии семян. Это очень важно в современных экономических условиях, когда семена овощных культур являются достаточно дорогими.

**Ключевые слова:** овощи; высевальный аппарат; гидросеялка; пророщенные семена; исследование.

Рис.: 5. Табл.: 3. Библ.: 6.

**Deyneka Stanislav** – applicant of the National University of Life and Environmental science of Ukraine (15 Heroiv Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

**Дейнека Станіслав Миколайович** – здобувач Національного університету біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041 Україна).

**Дейнека Станіслав Николаевич** – соискатель Национального университета биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Обороны, 15, г. Киев, 03041 Украина).

**E-mail:** deyneka5555@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.

Опублікування наукових статей у журналі «Технічні науки та технології» є платним. Вартість публікації 1 сторінки наукової статті становить **65 грн** (прохання обов'язково уточнювати вартість публікації). Оплата підтверджується квитанцією.

**УМОВИ ПУБЛІКАЦІЇ, ВИМОГИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ, РЕКВІЗИТИ  
ОПЛАТИ ТА ОСТАННІ НОМЕРИ НАУКОВОГО ЖУРНАЛУ «ТЕХНІЧНІ НАУКИ  
ТА ТЕХНОЛОГІЇ» РОЗМІЩЕНО НА САЙТІ ЧЕРНІГІВСЬКОГО  
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ:**

<http://tst.stu.cn.ua/>

**Контактна інформація.**

Матеріали необхідно надсилати на адресу: 14035, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95, корп. 1, к. 242 (науково-дослідна частина).

Контактна особа: **Кормило Ірина Миколаївна.**

Тел. роб.: (0462) 66-52-27

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*

*№ 1 (11)*

Відповідальний за випуск  
Коректор  
Комп'ютерна верстка і макетування

О. І. Пилипенко  
О. С. Смелова  
Т. М. Колот

Підписано до друку 15.03.2018. Формат 60x84/8. Друк різнографія.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. – 33,48.  
Тираж 100 пр. Замовлення № 417/18.

---

Редакційно-видавничий відділ Чернігівського національного технологічного університету  
14035, Україна, м. Чернігів, вул. Шевченка, 95.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції  
серія ДК № 4802 від 01.12.2014 р.