

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

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



# ***ТЕХНІЧНІ НАУКИ ТА ТЕХНОЛОГІЇ***

***НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ***

***№ 2 (12)***

Чернігів 2018

УДК 62:67.05

T38

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)

Друкується за рішенням вченої ради Чернігівського національного технологічного університету (протокол № 6 від 31.05.2018 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 / Чернігів. нац. технол. ун-т. – Чернігів : Т38 ЧНТУ, 2018. – № 2 (12). – 298 с.

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

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

**УДК 62:67.05**

**Головний редактор:**

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

**Заступник головного редактора:**

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

**Члени редакційної колегії:**

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

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

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

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 № 2 (12)***

Chernihiv 2018

UDC 62:67.05

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)

Published by the decision of the Academic Council of the Chernihiv National University of Technology (protocol № 6 dated 31.05.2018). 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. – № 2 (12). – 298 p.**

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

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

UDC 62:67.05

***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 I. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

<i>Гуляр О., Пискунов С., Максим'юк Ю.</i> Дослідження нелінійного деформування складених оболонкок обертання середньої товщини .....	9
<i>Іванчук Я.</i> Математичний метод визначення стійкості коливальних систем під дією зовнішнього вібраційного навантаження .....	25
<i>Шаповалов О., Колесник Д., Пилипенко О.</i> Конструкції, кінематичні схеми та технічні характеристики вертольотних редукторів .....	34
<i>Фам Дык Куан, Тимошенко А., Бабак А., Коваль В.</i> Повреждаемость металлических материалов с учетом вида напряженного состояния .....	49

## РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

<i>Кальченко В. В., Кальченко В. І., Сіра Н., Кужельний Я.</i> Дослідження сил різання одиничного абразивного зерна при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі .....	59
<i>Венжега В., Рудик А., Пасов Г.</i> Повышение качества обработки торцов винтовых пружин сжатия .....	69
<i>Сапон С., Ігнатенко П., Журко В.</i> Особливості проектування технологічного оснащення для деревообробки .....	76
<i>Лутвун О., Kalchenko D.</i> Investigation of the process of double-sided grinding of torches of pushers with different diameters .....	86

## РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

<i>Березін Л., Руденко М.</i> Оптимізація процесу зварювання діелектриків з алюмінієм в електричному полі високої напруги .....	94
<i>Болотов М.</i> Аналіз основних нестабільностей тліючого розряду середніх тисків в умовах обробки матеріалів .....	103

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

<i>Казимир В., Карпачев І., Усік А.</i> Моделі системи безпеки ОС Android .....	116
<i>Кунах Н., Харлай Л., Коновалов О., Нікіфоренко К., Сотніченко Ю., Матюшичев Ю.</i> Особливості безпроводного абонентського доступу з використанням оптичних технологій .....	127
<i>Дуднік А.</i> Метод вимірювання відстані між об'єктами сенсорних мереж засобами мікропроцесорного фазометра .....	136
<i>Башиїнська О., Камак Ю., Нестеренко С.</i> Метод діагностики компонентів системи керування безпілотного авіаційного комплексу .....	142
<i>Медушевський С.</i> Розробка уніфікованої методики оцінки ризиків у процесі валідації автоматизованих інформаційних систем .....	151

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

<i>Безручко В.</i> Захист фільтрів струмів нульової послідовності в ненормальних режимах мережі .....	159
<i>Жартівський О., Кравченко В., Ларічкін О., Карягін Ж.</i> Автоматизована система виміру та розрахунку параметрів імпульсного електричного струму .....	167
<i>Тительмаєр К., Гусев О., Велигорський О.</i> Огляд неізолюваних двонаправлених топологій перетворювачів для портативних застосувань на базі відновлювальних джерел електроенергії .....	176
<i>Lezhnyuk P., Hunko I., Malogulko Ju., Kotylo I., Krot L.</i> Modeling of compatible work of distributed power sources of electric power and centralised power supply .....	189

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

<i>Буяльська Н., Ткаченко Ю., Денисова Н.</i> Використання продуктів переробки цикорію коренеплідного в технології виробництва борошняних кондитерських виробів .....	196
<i>Гринченко Н., Пивоваров П., Гринченко О., Тютюкова Д., Плотнікова Р.</i> Вплив технологічних чинників на структурно-механічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного .....	204
<i>Заморська І.</i> Оцінка технологічних властивостей ягід суниці садової .....	216
<i>Золотухіна І.</i> Оптимізація процесу диспергування компонентів напівфабрикатів білково-вуглеводних із пюре моркви .....	222
<i>Нестеренко Н., Іванюта А., Мостика К.</i> Вплив бланшування на якість заморожених культивованих печериць .....	228
<i>Ковальчук А., Почечун Т., Галиш В., Трус І.</i> Фосфорилування шкаралуп волоських горіхів для підвищення ефективності очищення водних розчинів .....	236

**РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

<i>Іванишин В., Бугай В., Дудко В., Пеньковець О.</i> Польові й лабораторні інженерно-геологічні дослідження ділянки під будівництво багатоквартирних житлових будинків у північній частині м. Чернігова .....	245
<i>Крячок С.</i> Визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра в лінійно-кутовій мережі .....	263
<i>Мовенко В.</i> Моніторинг гідрографічних об'єктів території масиву «Кордівка» м. Чернігова .....	273
<i>Корзаченко М.</i> Підсилення фундаментів малоповерхових будинків у щільних умовах .....	283
<i>Kornienko M., Zhuk V., Abed S., Chegodaev I.</i> Experience of fixing a weak base foundation by vertical soil-cement elements using drill-mixing technology .....	290

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

## CONTENT

## SECTION I. MECHANICS AND APPLIED MATHEMATICS

<i>Gulyar A., Piskunov S., Maksimyuk Yu.</i> Investigation of nonlinear deformation of complicated medium thickness rotation shells .....	9
<i>Ivanchuk Ya.</i> Mathematical method for determining stability oscillatory systems under the influence of external vibrations.....	25
<i>Shapovalov O., Kolesnik D., Pilipenko O.</i> Constructions, kinematic charts and specifications of helicopter reducers.....	34
<i>Pham Duc Quan, Tymoshenko O., Babak A., Koval V.</i> Damageability of metallic materials taking into account the stress state .....	49

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

<i>Kalchenko Vitalii, Kalchenko Volodymyr, Sira N., Kuzhelnyi Ya.</i> Research of the cutting forces of a single abrasive grain when grinding with crossed axes of a circle and a part .....	59
<i>Venzhega V., Rudik A., Pasov G.</i> Increase of quality of processing of screws of screw springs .....	69
<i>Sapon S., Ihnatenko P., Zhurko V.</i> Features of designing technological accessories for woodworking .....	76
<i>Lytvyn O., Kalchenko D.</i> Investigation of the process of double-sided grinding of torches of pushers with different diameters .....	86

## SECTION III. WELDING AND MATERIALS SCIENCE

<i>Berezin L., Rudenko M.</i> Optimization of welding process of dielectrics with aluminium in the high voltage electric field .....	94
<i>Bolotov M.</i> Analysis of the main instabilities of medium pressure glow discharge in the conditions of materials treatment .....	103

## SECTION IV. INFORMATION AND COMPUTER TECHNOLOGIES

<i>Kazymyr V., Karpachev I., Usik A.</i> Models of the system of security OS Android .....	116
<i>Kunakh N., Kharlai L., Kononov O., Nikiforenko K., Sotnichenko Yu., Matiushychev Yu.</i> Features of wireless subscriber access using optical technologies .....	127
<i>Dudnik A.</i> Method of measurement agreed between the sensor networks by the microprocessor phase meters .....	136
<i>Bashynska O., Kamak Yu., Nesterenko S.</i> Method of diagnostics of the control system components by unavailable aviation complex .....	142
<i>Medushevskiy S.</i> Development of unified methodology of risk assessment in the process of validation of automated information systems.....	151

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

<i>Bezruchko V.</i> Protection of zero sequence current filters in the abnormal network modes .....	159
<i>Jhartovsky O., Kravchenko V., Larichkin O., Karyahin Zh.</i> Automated system of measurement and calculation of pulse electric current parameters .....	167
<i>Tytelmaier K., Husev O., Veligorskiy O.</i> Review of non-isolated bidirectional converters topologies for portable application based on renewable energy sources .....	176
<i>Lezhnyuk P., Hunko I., Malogulko Ju., Kotylko I., Krot L.</i> Modeling of compatible work of distributed power sources of electric power and centralised power supply .....	189

## SECTION VI. TECHNOLOGIES OF FOOD AND LIGHT INDUSTRY

<i>Buialska N., Tkachenko Y., Denisova N.</i> Use of the root chicory processing products in the production technology of flour confectionery products .....	196
<i>Grynchenko N., Pyvovarov P., Grynchenko O., Tyutyukova D., Plotnikova R.</i> Influence of technological factors on structural-mechanical and technological properties of semi-fabricates from lactic cheese .....	204
<i>Zamorska I.</i> Evaluation of garden strawberries' technological properties .....	216
<i>Zolotukhina I.</i> The process' optimization of dispersing components of semi-finished salts of protein-carbohydrate with carrot pure .....	222
<i>Nesterenko N., Ivanyuta A., Mostyka K.</i> Influence of blanking on quality of frozen cultivated mushrooms .....	228
<i>Kovalchuk A., Pochechun T., Halysk V., Trus I.</i> Phosphorylation of walnuts shells to increase the efficiency of water solutions purification .....	236

SECTION VII. CONSTRUCTION AND ENVIRONMENTAL  
MANAGEMENT TECHNOLOGY

<i>Ivanyshyn V., Buhai V., Dudko V., Penkovets O.</i> Field and laboratory engineering-geological studies of the site for the construction of apartment buildings in the northern part of Chernihiv .....	245
<i>Kryachok S.</i> Determination of a constant correction of rangefinder of electronic total station in linear-angled network .....	263
<i>Movenko V.</i> The hydrographical objects' monitoring of the territory of «Kordivka» area in Chernihiv .....	273
<i>Korzachenko M.</i> Reinforcement of foundation in low-rise buildings in cramped settings .....	283
<i>Kornienko M., Zhuk V., Abed S., Chegodaev I.</i> Experience of fixing a weak base foundation by vertical soil-cement elements using drill-mixing technology .....	290

<b>BASIC REQUIREMENTS FOR EXECUTION AND SUBMISSION OF MANUSCRIPTS OF SCIENTIFIC ARTICLES .....</b>	<b>297</b>
--	------------



# РОЗДІЛ I. МЕХАНІКА ТА ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

УДК 539.376

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-9-24

Олександр Гуляр, Сергій Пискунов, Юрій Максим'юк

## ДОСЛІДЖЕННЯ НЕЛІНІЙНОГО ДЕФОРМУВАННЯ СКЛАДЕНИХ ОБОЛОНОК ОБЕРТАННЯ СЕРЕДНЬОЇ ТОВЩИНИ

**Актуальність теми дослідження.** З огляду на літературні джерела, можна стверджувати, що нині проблема дослідження нелінійного деформування складених оболонок обертання середньої товщини висвітлено недостатньо повно. Розрахунок оболонок як систем з ускладненою структурою спричиняють не тільки обчислювальні, але й принципові методичні труднощі. Їхнє вирішення приводить до необхідності створення нових універсальних розрахункових моделей. Найуспішніше ця проблема може бути вирішена методом скінчених елементів (МСЕ) на основі реалізації методики моментної схеми скінчених елементів (МССЕ).

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток обчислювальної техніки стимулює розробку нових уточнених методів дослідження оболонок, які мають ширше коло використання, ніж традиційні методи розрахунку окремих класів оболонок. Важливе значення набуває розробка автоматизованих програмних комплексів, які є необхідним інструментом для практичного вирішення розглянутої проблеми через проведення чисельних досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті як класичні роботи, так і сучасні публікації у вітчизняних та закордонних джерелах, що відповідають цій проблемі.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Реалізація методик дослідження нелінійного деформування складених оболонок обертання середньої товщини.

**Постановка завдання.** На основі МССЕ реалізується методика розв'язання задачі про напружено-деформований стан виділеного класу оболонок обертання з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності.

**Виклад основного матеріалу.** На основі вихідних співвідношень просторової задачі теорії пружності й методики МССЕ наведено ефективний підхід до визначення напружено-деформованого стану складених оболонок обертання середньої товщини за наявності великих переміщень і деформацій пластичності. Шляхом порівняння з розв'язками, отриманими в просторовій постановці, показано, що розроблена методика дозволяє отримувати достовірні результати, забезпечуючи суттєве зменшення обчислювальних витрат.

**Висновки відповідно до статті.** Аналіз результатів розв'язання контрольних прикладів показав достовірність, універсальність і ефективність використання методики й розробленого комплексу до моделювання процесів деформування тонкостінних об'єктів, що супроводжуються істотним формозміненням за рахунок деформацій пластичності.

**Ключові слова:** метод скінчених елементів; моментна схема скінчених елементів; пластичність; складені оболонки обертання середньої товщини; геометрична нелінійність; занурюванні апарати; витяжка циліндричного стакану.

Рис.: 12. Табл.: 3. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Серед об'єктів сучасної техніки широкий клас складають відносно тонкостінні тіла обертання, створення яких вимагає підвищеної уваги до розрахункового визначення їх напружено деформованого стану як під час експлуатації, так і в процесі виготовлення.

**Постановка проблеми.** Сучасний розвиток обчислювальної техніки стимулює розробку нових уточнених методів дослідження оболонок, які мають ширше коло використання, ніж традиційні методи розрахунку окремих класів оболонок. Важливе значення набуває розробка автоматизованих програмних комплексів, які є необхідним інструментом для практичного вирішення розглянутої проблеми через проведення чисельних досліджень.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблемі розробки методів розв'язку вісесиметричних задач фізично і геометрично нелінійного деформування оболонок присвячена досить значна кількість публікацій. Їх огляд наведено в багатьох статтях та монографіях, зокрема в [1; 2]. Аналіз публікацій з цього питання свідчить, що значна кількість проблем, пов'язаних з необхідністю моделювання процесів розвитку великих деформацій пластичності та визначення на цій основі граничної несучої здатності відповідальних об'єктів сучасної техніки, які являють собою складені оболонки складної форми середньої товщини, потребує проведення додаткових досліджень.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Реалізація методик дослідження нелінійного деформування складених оболонок обертання середньої товщини.

**Постановка завдання.** Реалізується побудова розрахункових співвідношень, методів розробки ефективних підходів до розв'язання систем нелінійних рівнянь і визна-

чення на цій основі параметрів напружено-деформованого стану відповідальних об'єктів сучасної техніки.

**Виклад основного матеріалу. Вихідні співвідношення.** Розглянемо в базисній круговій циліндричній системі координат  $Z^{\alpha'}$  ( $\alpha=1,2$ ) вісесиметричну оболонку, напружено-деформований стан якої описується в місцевій криволінійній системі координат  $x_{\alpha\beta}$  органічно пов'язаною з геометрією оболонки (рис. 1, а).

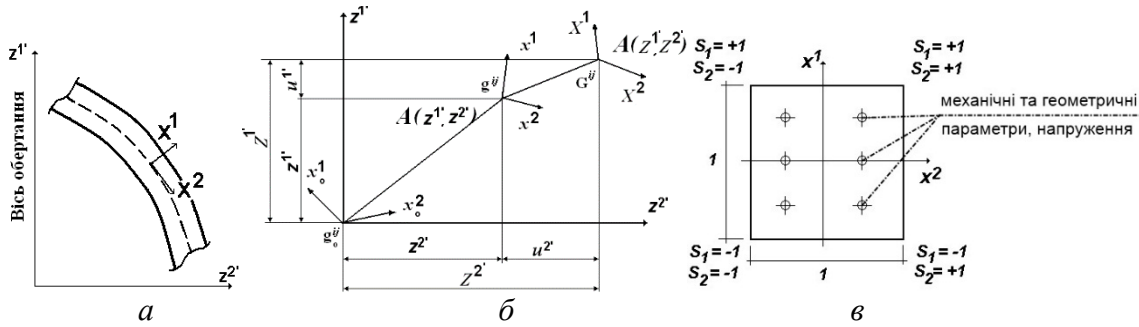


Рис. 1. Місцева криволінійна система координат (а), зміна розташування точки відповідно до введеної проміжної відрахункової конфігурації (б), розроблений СЕ (в)

Будемо вважати, що в кожній точці меридіонального перетину зв'язок між базисною і місцевою системою координат однозначно визначається тензором перетворень,

$$\text{де } z^{\alpha'}_{,\beta} = \frac{\partial z^{\alpha'}}{\partial x_{\beta}}.$$

У ролі вихідних прийняті співвідношення просторової задачі нелінійної теорії пружності, наведені в роботі [3]. Зв'язок між напруженнями і деформаціями за межею текучості прийнято відповідно до основних положень теорії течії, наведені в [4].

При великих деформаціях можливі значні повороти частин конструкцій, які не повинні змінювати напружено-деформований стан тіла. У цьому випадку необхідно, щоб величини, які входять у визначальні співвідношення, задовольняли вимогам індивергентності. У зв'язку з цим у роботі використані тензор напружень Коші й міра деформацій Фінгера. Обидва тензори та їх інваріанти задовольняють властивості індивергентності [3].

Опис напружено-деформованого стану об'єктів у процесах, що супроводжуються великими подовженнями й поворотами, здебільшого, виконується в двох конфігураціях: відрахунковій початковій  $x_0^i$  і актуальній  $x^i$  (рис. 1, б).

Введемо проміжну перемінну відрахункову конфігурацію  $x^i$  (рис. 1, б), компоненти метричного тензора якої позначимо через  $g^{ij}$ . Перемінну відрахункову конфігурацію приймаємо достатньо близькою до актуальної таким чином, щоб приріст компонент метричного тензора  $\Delta G^{ij}$  був малою величиною порівняно з компонентами метричного тензора в актуальній конфігурації  $G^{ij}$ .

Геометричні рівняння деформованого тіла для коваріантних компонент приросту деформації в актуальній конфігурації визначаються через переміщення відносно проміжної відрахункової конфігурації:

$$\Delta \varepsilon_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (z^{\nu'}_{,\alpha} u^{\nu'}_{,\beta} + z^{\nu'}_{,\beta} u^{\nu'}_{,\alpha} + u^{\nu'}_{,\alpha} u^{\nu'}_{,\beta}), \quad \Delta \varepsilon_{33} = \frac{1}{2} (2z^2 u^2 + (u^2)^2). \quad (1)$$

Лінійний тензор деформацій обчислюємо за формулою:

$$\Delta \hat{\varepsilon}_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (z^{\nu'}_{,\alpha} u^{\nu'}_{,\beta} + z^{\nu'}_{,\beta} u^{\nu'}_{,\alpha}), \quad \Delta \hat{\varepsilon}_{33} = z^2 u^2. \quad (2)$$

Коваріантні компоненти тензора приросту нелінійних деформацій в актуальній конфігурації (1) можна подати співвідношеннями, аналогічними формулі (2):

$$\Delta \varepsilon_{\alpha\beta} = \frac{1}{2} (\bar{z}_{,\beta} v'_{,\alpha} + \bar{z}_{,\alpha} v'_{,\beta}), \quad \Delta \varepsilon_{33} = \bar{z}'^2 u'^2, \quad (3)$$

де коефіцієнти перетворень подамо у вигляді:

$$\bar{z}' v' = z v' + \frac{1}{2} u v', \quad \bar{z}'_{,\beta} v' = z_{,\beta} v' + \frac{1}{2} u_{,\beta} v'. \quad (4)$$

Можна показати, що вираз (3) тотожно дорівнює (1):

$$\begin{aligned} \Delta \varepsilon_{\alpha\beta} &= \frac{1}{2} ((z'_{,\alpha} + \frac{1}{2} u'_{,\alpha}) u'_{,\beta} + (z'_{,\beta} + \frac{1}{2} u'_{,\beta}) u'_{,\alpha}) = \\ &= \frac{1}{2} (z'_{,\alpha} u'_{,\beta} + \frac{1}{2} u'_{,\alpha} u'_{,\beta} + z'_{,\beta} u'_{,\alpha} + \frac{1}{2} u'_{,\beta} u'_{,\alpha}) = \frac{1}{2} (z'_{,\alpha} u'_{,\beta} + z'_{,\beta} u'_{,\alpha} + u'_{,\alpha} u'_{,\beta}). \\ \Delta \varepsilon_{33} &= (z'^2 + \frac{1}{2} u'^2) u'^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Аналогічно можна представити варіацію деформацій. Обчислимо варіацію приросту нелінійних деформацій (1):

$$\begin{aligned} \delta(\Delta \varepsilon_{\alpha\beta}) &= \frac{1}{2} (z'_{,\alpha} \delta u'_{,\beta} + z'_{,\beta} \delta u'_{,\alpha} + 2 \delta u'_{,\alpha} u'_{,\beta}), \\ \delta(\Delta \varepsilon_{33}) &= (z'^2 \delta u'^2 + u'^2 \delta u'^2). \end{aligned} \quad (6)$$

Представимо варіацію нелінійних деформацій аналогічно (3):

$$\begin{aligned} \delta(\Delta \varepsilon_{\alpha\beta}) &= \frac{1}{2} (Z'_{,\alpha} \delta u'_{,\beta} + Z'_{,\alpha} \delta u'_{,\alpha}), \\ \delta(\Delta \varepsilon_{33}) &= Z'^2 \delta u'^2, \end{aligned} \quad (7)$$

де  $Z v' = z v' + u v', \quad Z'_{,\beta} v' = z'_{,\beta} v' + u'_{,\beta} v', \quad (8)$

При їх підстановці в (7) отримаємо:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta \varepsilon_{\alpha\beta}) &= \frac{1}{2} ((z'_{,\alpha} + u'_{,\alpha}) \delta u'_{,\beta} + (z'_{,\beta} + u'_{,\beta}) \delta u'_{,\alpha}) = \\ &= \frac{1}{2} (z'_{,\alpha} \delta u'_{,\beta} + u'_{,\alpha} \delta u'_{,\beta} + z'_{,\beta} \delta u'_{,\alpha} + u'_{,\beta} \delta u'_{,\alpha}) = \frac{1}{2} (z'_{,\alpha} \delta u'_{,\beta} + z'_{,\beta} \delta u'_{,\alpha} + 2 u'_{,\beta} \delta u'_{,\alpha}), \\ \delta(\Delta \varepsilon_{33}) &= (z'^2 + u'^2) \delta u'^2 = (z'^2 \delta u'^2 + u'^2 \delta u'^2). \end{aligned} \quad (9)$$

**Методика розв'язання задачі пружнопластичного деформування складених оболонок середньої товщини.** У цій роботі за основу побудови розв'язувальних нелінійних співвідношень вісесиметричних оболонок середньої товщини прийнята методика моментної схеми скінчених елементів (МССЕ), викладена в [5].

У роботі [6] отримані розв'язувальні співвідношення МССЕ для визначення напружено-деформованого стану оболонок обертання і проведена їх апробація на широкому колі контрольних прикладів, що охоплюють як тонкостінні об'єкти постійної і змінної товщини, так і оболонки середньої товщини. Крім того, розглянута складена оболонка являє собою поєднання елементів сфери тора і циліндра. Зіставлення з результатами відомих розв'язків показало, задовільний збіг усіх параметрів напружено-деформованого стану. Крім того, шляхом дослідження збіжності результатів показано, що розроблені скінчені елементи (СЕ) рис. 1, в не поступаються за ефективністю оболонковим СЕ.

У цій роботі використовується комбінований алгоритм, що поєднує інтегрування за параметром із методом Ньютона-Кантаровича на одному кроці  $m$  значення параметра спуску  $\lambda$  [2].

$$\{u\}_n^m = \{u\}_{n-1}^m + \{\Delta u\}_n^m = \{u\}_{n-1}^m + [K^*]^{-1}_m (\{Q\}^m - \{R\}_n^m), \quad (10)$$

де  $\{u\}_n^m$  – прирощення переміщень на ітерації  $n$  кроку  $m$ ;  $[K]_m$  – лінеаризована матриця жорсткості в системі рівнянь МСЕ, обчислена в проміжній відрахунковій конфігурації  $x_m^\alpha$  з використанням тензора миттєвих жорсткостей пружно-пластичного матеріалу й координат вузлів дискретної моделі  $x_m^\alpha$ ;  $\{Q\}_n^m$ ,  $\{R\}_n^m$  – вектори вузлових зусиль і реакцій, визначені в актуальній конфігурації  $X_m^\alpha$ . Компоненти вектора вузлових реакцій обчислюються з урахуванням як фізичної, так і геометричної нелінійності на основі повних напружень, що дозволяє уникнути вказаної вище проблеми накопичення похибки.

У загальному випадку формули для визначення коефіцієнтів матриці жорсткості та вузлових реакцій мають такий вигляд:

$$\begin{aligned} [k] &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left[ [B]^T [D] [B] \sqrt{g} H_i H_j \right] \left( x_i^1, x_j^2 \right), \\ \{r_\sigma\} &= \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \left[ [B]^T \{\sigma\} \sqrt{g} H_i H_j \right] \left( x_i^1, x_j^2 \right), \end{aligned} \quad (11)$$

де  $I$ ,  $J$  – кількість точок інтегрування по  $x^1$ ,  $x^2$  відповідно;  $H_i$ ,  $H_j$  – вагові функції;  $x_i^1$ ,  $x_j^2$  – координати точок інтегрування.

Обчислення здійснюються до виконання умови:

$$\left\| \{Q\}_n^m - \{R\}_n^m \right\| \leq \zeta \left\| \{Q\}_n^m \right\|, \quad (12)$$

де  $\zeta$  – параметр точності розв'язання системи нелінійних рівнянь;  $\left\| \{Q\}_n^m \right\|$  – сума квадратів вузлових зусиль скінчено елементної моделі (СЕМ);  $\left\| \{R\}_n^m \right\|$  – сума квадратів реакцій скінченоелементної моделі (СЕМ).

Початкове значення вектора переміщень на першій ітерації кроку  $m$  екстраполюється за значенням вектора  $\{u_{m-1}\}$  і прирощень параметра  $\Delta\lambda_{m-1}$  і  $\Delta\lambda_m$ :

$$\{u_m\} = \frac{\{u_{m-1}\} \Delta\lambda_m}{\Delta\lambda_{m-1}}. \quad (13)$$

Після цього розпочинається ітераційний процес розв'язання системи нелінійних рівнянь відповідно до (1).

За обчисленим у результаті розв'язку системи нелінійних рівнянь значенням прирощення вектора  $\{u_m\}$  визначаються прирощення фізичних напружень  $(\Delta\tilde{\sigma}^{ij})_m$ :

$$(\tilde{\sigma}^{ij})_m = (\tilde{\sigma}^{ij})_{m-1} + (\Delta\tilde{\sigma}^{ij})_m, \quad (14)$$

та виконується перерахунок базисних координат всіх вузлів сіткової області за формулою:

$$z_m^\alpha = z_{m-1}^\alpha + u_m^\alpha. \quad (15)$$

Здійснюється перевірка виконання умови (12). При її виконанні ітераційний процес закінчується. Якщо умова не виконана, то визначається нове прирощення параметра і виконується наступний крок чисельного інтегрування.

Як параметр може застосовуватися як інтенсивність навантаження, так і величина переміщення деякого вузла сіткової області. Використання двох параметрів спуску дає змогу отримувати всю криву навантаження-прогин при неоднозначності функцій  $q(u)$  або  $u(q)$ .

Для з'ясування можливості визначення розвитку зон пластичності в тонкостінних конструкціях, які апроксимуються по товщині одним скінченим елементом, виконано пруж-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

но-пластичний розрахунок шарнірно опертої балки, завантаженої рівномірно розподіленим навантаженням (рис. 2) при наступних механічних характеристиках:  $E = 1,0$ ;  $\nu = 0,3$ . За товщиною скінченного елемента приймалося п'ять Гаусових точок інтегрування.

Аналітичний розв'язок задачі наведений у роботі [7], де зв'язок координат між зонами пластичності з інтенсивністю заданого розподіленого навантаження  $q$  представлений у вигляді:

$$z^2 - 3h^2 = 2h^2 \frac{q}{q_0} \left( \frac{x^2}{a^2} - 1 \right), \tag{16}$$

де  $h$  – половина висоти балки;  $a$  – половина довжини балки;  $q_0$  – величина розподіленого навантаження, за якої з'являються пластичні деформації;

$$q_0 = \frac{4 M}{3 a^2}, \tag{17}$$

де  $M$  – значення згинального моменту.

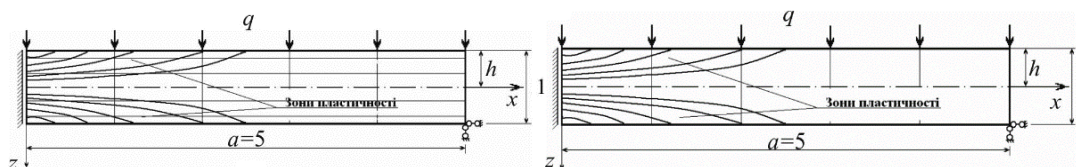


Рис. 2. Шарнірно оперта балка завантажена рівномірно розподіленим навантаженням

Для дослідження достовірності результатів розв'язку фізично й геометрично нелінійних задач, при використанні одного СЕ по товщині оболонки було проведено їх порівняння з розв'язком, отриманим у просторовій постановці.

Торосферичний посуд складається з елементів сфери, тора й циліндра під дією внутрішнього тиску (рис. 3, а). Товщина стінки сосуду  $h = 1/4$  дюйма (0,00635 м), коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,31$ , інтенсивність внутрішнього тиску становить 100 фунтів на один квадратний дюйм (689,476 кН/м<sup>2</sup>). Відношення межі текучості  $t_s$  до модуля пружності  $E$  становить 1:750. Результати розрахунку, отримані МССЕ, порівнювалися з результатами, що отримані в роботі [8]. На рис. 3, б представлені криві, які показують зростання максимальної деформації на тороїдальній частині сосуду залежно від величини інтенсивності внутрішнього тиску.

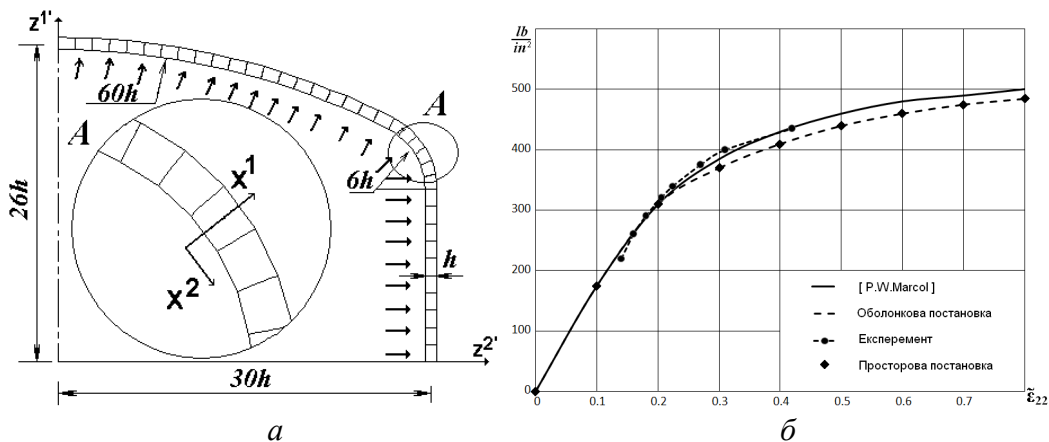


Рис. 3. Дискретна модель (а), зростання максимальної деформації на тороїдальній частині сосуду залежно від величини інтенсивності внутрішнього тиску (б)

Суцільною лінією зображені результати роботи [8], пунктирною з кружечками – дані експерименту, пунктирною лінією – розв'язки, отримані на основі МССЕ. Спостерігається непогана для такої складної задачі збіжність результатів.

**Вплив урахування великих переміщень на напружено-деформований стан занурюваних оболонкових об'єктів.** Одному з основних параметрів, що визначають рівень експлуатаційних і екстремальних навантажень при проектуванні занурюваних апаратів, приймаються величини тисків, які відповідають виникненню деформацій пластичності і  $Q_p$  і втрати несучої здатності  $Q_k$ .

Як приклад застосування розробленої методики до визначення напружено-деформованого стану складених оболонок постійної товщини розглянемо два типи підводних апаратів, що відрізняються конструктивними особливостями й функціональним призначенням. Перший – це дозাপравочний балон, який являє собою торосферичний посуд, навантажений зовнішнім тиском інтенсивністю  $q$ . Розрахункова схема об'єкта і можливі варіанти скінчено елементної дискретизації оболонковою і просторовою апроксимацією представлені на рис. 4, а. Конструкція запроектована для занурення на великі глибини і являє собою циліндр, з'єднаний з двома днищами тороїдальними ділянками позитивної гаусової кривизни. Радіус серединної поверхні сферичних оболонок  $R_1 = 200$  см, радіус циліндра  $R_2 = 100$  см, радіус тороїдальних ділянок  $R_3 = 15$  см, загальна довжина об'єкта  $2Z_c = 400$  см. Товщина оболонки  $h$  змінюється в діапазоні від 2 до 4 см. Модуль пружності  $E = 205939,65$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,3$ , межа текучості при чистому зсуві  $\tau_s$  прийняті 3000, 6000 і 9000 кг/см<sup>2</sup>.

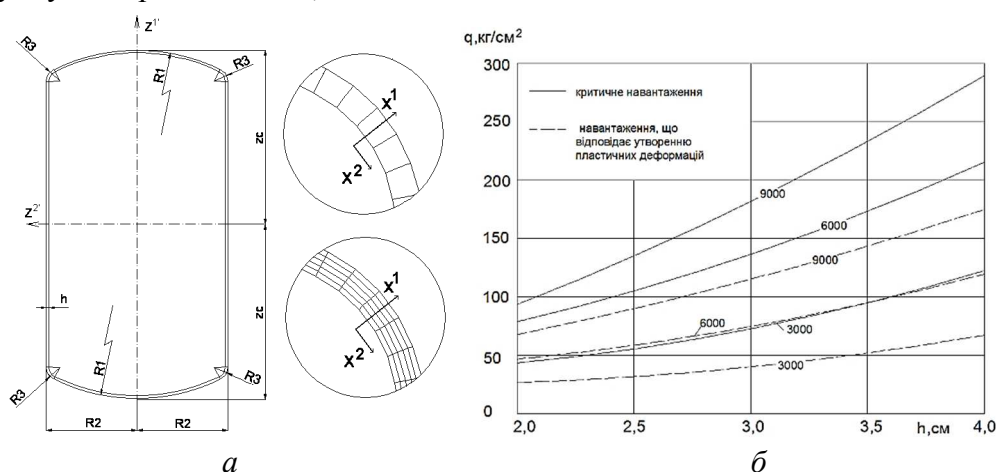


Рис. 4. Дозাপравочний балон (а), залежність величини критичного навантаження  $P_k$  від товщини оболонки при трьох значеннях межі текучості (б)

На основі дослідження [6] оболонка апроксимується 50 СЕ в меридіальному напрямку (20 – на сферичній, 10 – на тороїдальній і 20 – на циліндричній ділянці) і одним по товщині. Результат розрахунку представлений на рис. 4, б у вигляді кривих, що відображають залежність величини критичного навантаження  $P_k$  від товщини оболонки при трьох значеннях межі текучості. Навантаження, яке відповідає появі пластичних деформацій  $P_T$ , відмічені пунктирною лінією. Цифри на графіку відображають величину  $\tau_s$ . Визначення критичного навантаження і тиску, які характеризують появу пластичних деформацій, отримані при одночасному урахуванні фізичної та геометричної нелінійності.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити такі висновки. Товщина оболонки й межа пластичності матеріалу при чистому зсуві суттєво впливають на величину  $P_k$  і  $P_T$  у прийнятному діапазоні зміни параметрів. Залежність критичних навантажень і тисків, відповідних утворенню пластичних деформацій, від  $h$  близька до лінійної. Так, максимальна відмінність розрахункових величин  $P_k$  і  $P_T$  від значень, розрахованих за допомогою лі-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

нійної інтерполяції на ділянці від  $h = 2$  до  $h = 4$  см, становить 5–6 %. Зі збільшенням товщини оболонки спостерігається тенденція до зростання відношення  $R_K/R_T$  при фіксованому значенні  $\tau_s$ . Водночас збільшення  $\tau_s$  призводить до зменшення цього відношення (табл. 1). Дані табл. 1 свідчать про те, що розглянута конструкція дозাপравочного балона після утворення пластичних деформацій здатна сприймати значні навантаження (які в 1,5–2,0 рази перевищують  $R_T$ ) до моменту втрати стійкості.

У табл. 1 наведені також відношення показників зміни  $R_K$  і  $R_T$ , що відповідають збільшенню границі текучості при чистому зсуві в 2 і 3 рази. Тут  $R_K(3000)$  і  $R_T(3000)$  позначають критичні навантаження і тиск, що характеризують момент утворення пластичних деформацій, при  $\tau_s = 3000$  кг/см<sup>2</sup>. Очевидно, що збільшення  $\tau_s$  не призводить до пропорційного зростання  $R_K$  і  $R_T$ . Характер зміни величин  $R_K$ ,  $R_T$  і  $R_K/R_T$  пояснюється впливом геометричної нелінійності, яке проявляється тим сильніше, чим тонша оболонка і вище межа текучості матеріалу. Про кількісний вплив великих переміщень на процес деформування цієї конструкції дозাপравочного балону можна судити на підставі результатів, наведених у табл. 1, де  $P_K^N$  і  $P_T^N$  – інтенсивність зовнішнього тиску, визначена без урахування геометричної нелінійності.

Таблиця 1

Інтенсивність зовнішнього тиску при різних товщина оболонки

$(\tau_s/E) \cdot 10^3$	$h = 2$ см			$h = 4$ см			$h = 2$ см		$h = 4$ см	
	$\frac{P_K}{P_{K(3000)}}$	$\frac{P_T}{P_{T(3000)}}$	$\frac{P_K}{P_T}$	$\frac{P_K}{P_{K(3000)}}$	$\frac{P_T}{P_{T(3000)}}$	$\frac{P_K}{P_T}$	$\frac{P_K}{P_K^N}$	$\frac{P_T}{P_T^N}$	$\frac{P_K}{P_K^N}$	$\frac{P_T}{P_T^N}$
1/7	1,00	1,00	1,80	1,00	1,00	1,95	0,79	0,96	0,83	0,97
2/7	1,70	1,96	1,57	1,77	1,97	1,75	0,67	0,9	0,74	0,95
3/7	2,17	2,74	1,46	2,38	2,86	1,63	0,59	0,88	0,67	0,93

Насамперед необхідно зазначити, що зміна першочергової форми конструкції під дією зовнішнього тиску негативно впливає як на величину  $R_K$ , так і на  $R_T$ . Отже, врахування геометричної нелінійності в цьому набуває принципового значення в порівнянні з об'єктами, що перебувають під дією внутрішнього тиску. Залежність  $R_T$  від формозмінення значно менше, ніж від критичних навантажень. Це цілком закономірно, оскільки момент виникнення пластичних деформацій відбувається при відносно невеликих переміщеннях оболонки.

На рис. 5, а і 5, б показані графіки, що відображають величину наведеного нормального переміщення  $w/h$  у центрі сферичної ділянки залежно від значення зовнішнього тиску для оболонок товщиною 2 і 4 см при значеннях  $\tau_s = 3000$  і  $9000$  кг/см<sup>2</sup>.

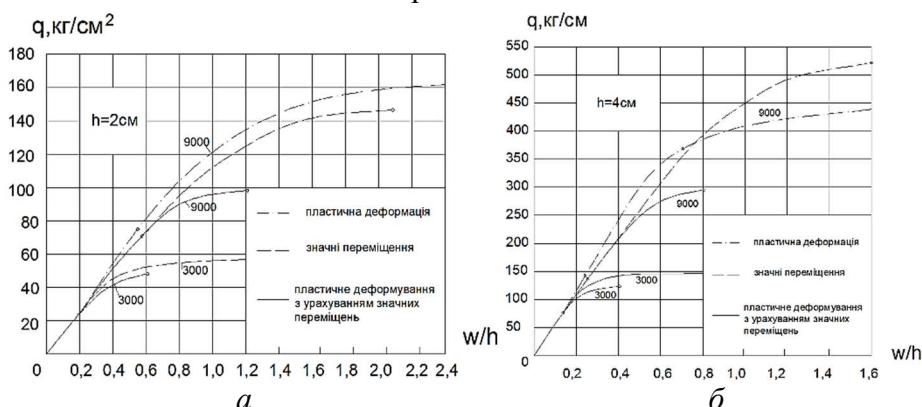


Рис. 5. Графіки залежності нормального переміщення від значення зовнішнього тиску

Суцільною лінією зображені криві, що відповідають розрахункам при сумісному впливі пластичного деформування і великих переміщень. Пунктирною лінією позначено вирішення геометрично нелінійної задачі, штрихпунктирною – фізично нелінійної. Точ-

ками на кривих відзначені навантаження, що відповідають початку розвитку пластичних деформацій, кружечками – критичні навантаження. Представлені результати свідчать про істотні залежності деформування конструкції від товщини оболонки і механічних характеристик матеріалу. При цьому слід зазначити, що пластичне деформування починається фактично при тих самих значеннях приведенного зміщення  $(w/h)T$  як у випадку врахування великих переміщень, так і в геометрично лінійній постановці. Тому збільшення  $\tau_s$  викликає пропорційну зміну  $(w/h)T$  не залежно від товщини оболонки.

Деяко інша справа з переміщеннями  $(w/h)K$ , що характеризують деформативність конструкції в момент втрати стійкості. У цьому випадку зростання  $\tau_s$  в 3 рази збільшує  $(w/h)K$  всього в 2 рази (у прийнятому діапазоні зміни  $h$ ).

Як і для навантажень, спостерігається зміна величини відношення  $(w/h)K / (w/h)T$  залежно від значення  $\tau_s$ . Так, у оболонок товщиною  $h = 2$  см  $(w/h)K / (w/h)T$  становить 3,16 і 2,11 при  $\tau_s = 3000$  і  $9000$  кг/см<sup>2</sup> відповідно. Відносно зменшення  $(w/h)K / (w/h)T$  зі збільшенням  $\tau_s$  притаманне і для оболонок товщиною  $h = 4$  см (3,82 і 2,41 при  $\tau_s = 3000$  і  $9000$  кг/см<sup>2</sup>). Однак абсолютне значення  $(w/h)K / (w/h)T$  зі зростанням товщини збільшується. Ці дані повністю узгоджуються з результатами, представленими в табл. 1.

Врахування обох видів нелінійності значно підвищує деформативність оболонки, особливо при тисках, що значно перевищують  $P_t$ . Зокрема,  $(w/h)K$  приблизно в 1,7-1,4 ( $\tau_s = 9000$  кг/см<sup>2</sup>) і в 2,0-1,7 ( $\tau_s = 3000$  кг/см<sup>2</sup>) рази більше значень наведених переміщень, обчислених з урахуванням тільки фізичної чи тільки геометричної нелінійності, при тих же самих навантаженнях, рівних  $P_k$ .

Відмінністю в постановці задачі обумовлено й розбіжність картини напруженого стану, одержуваної при тих самих навантаженнях. Як приклад розглянемо оболонку ( $h = 2$  см,  $\tau_s = 9000$  кг/см<sup>2</sup>) під дією зовнішнього тиску інтенсивністю  $97,26$  кг/см<sup>2</sup>, що відповідає  $P_k$ . Результати розрахунку у вигляді епюр меридіональних  $\tilde{\sigma}_{(e)}^{22}$  і  $\tilde{\sigma}_{(3)}^{22}$  і кільцевих  $\tilde{\sigma}_{(e)}^{23}$ ,  $\tilde{\sigma}_{(3)}^{23}$  напружень, що відображають напружений стан внутрішньої і зовнішньої поверхонь дозоправоного балона, представлені на рис. 6 і 7. Умовні позначення прийнято згідно з рис. 5.

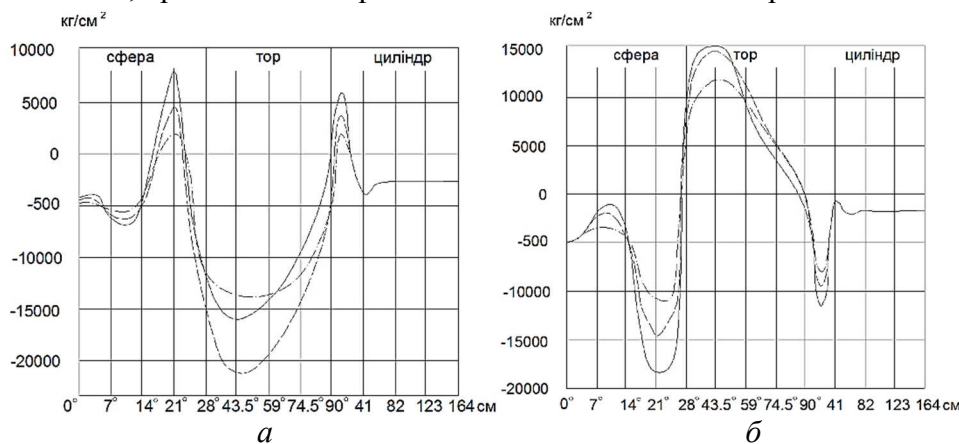


Рис. 6. Епюри меридіальних напружень дозоправоного балона:  
а – внутрішня поверхня; б – зовнішня поверхня

З наведених графіків випливає, що вплив пластичного деформування призводить до зменшення меридіональних напружень  $\tilde{\sigma}_{(e)}^{22}$  на внутрішній поверхні тороїдальної ділянки (рис. 6, а). З іншого боку, врахування геометричної нелінійності збільшує  $\tilde{\sigma}_{(3)}^{22}$  (рис. 7, б), тобто обидва фактори призводять до протилежних результатів, але взаємно не компенсуються, оскільки проявляються в різних точках конструкції.

Розподіл кільцевих напружень на тороїдальній ділянці характеризується подобою епюр, побудованих на підставі відокремленого врахування геометричної та фізичної нелінійності. При сумісному впливі обох видів нелінійності відбувається значний пере-



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

розподіл напружень, що супроводжується утворенням локальних екстремумів в областях, розташованих біля кордону тороїдальної оболонки.

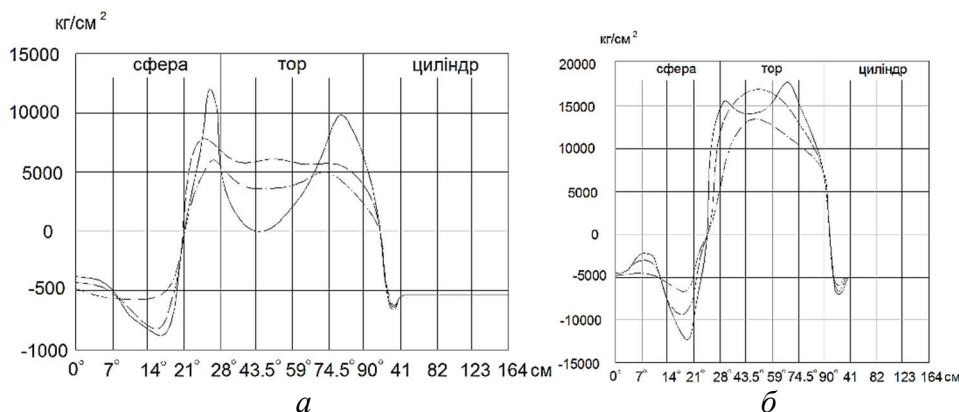


Рис. 7. Епюри кільцевих напружень дозправочного балона:  
а – внутрішня поверхня; б – зовнішня поверхня

На сферичній і циліндричній частинах дозправочного балона одночасне врахування великих переміщень і пластичного деформування призводить до значного зростання напружень у зонах моментного стану.

Розподіл інтенсивності дотичних напружень по внутрішній і зовнішній поверхнях оболонки, а також характер розвитку зон пластичності по товщині представлені на рис. 8. Умовні позначення прийняті відповідно до рис. 5. На рис. 8, в одинарним штрихуванням показана зона пластичності, визначена в геометрично нелінійній постановці, подвійним – зони пластичних деформацій, отримані з урахуванням впливу значних переміщень.

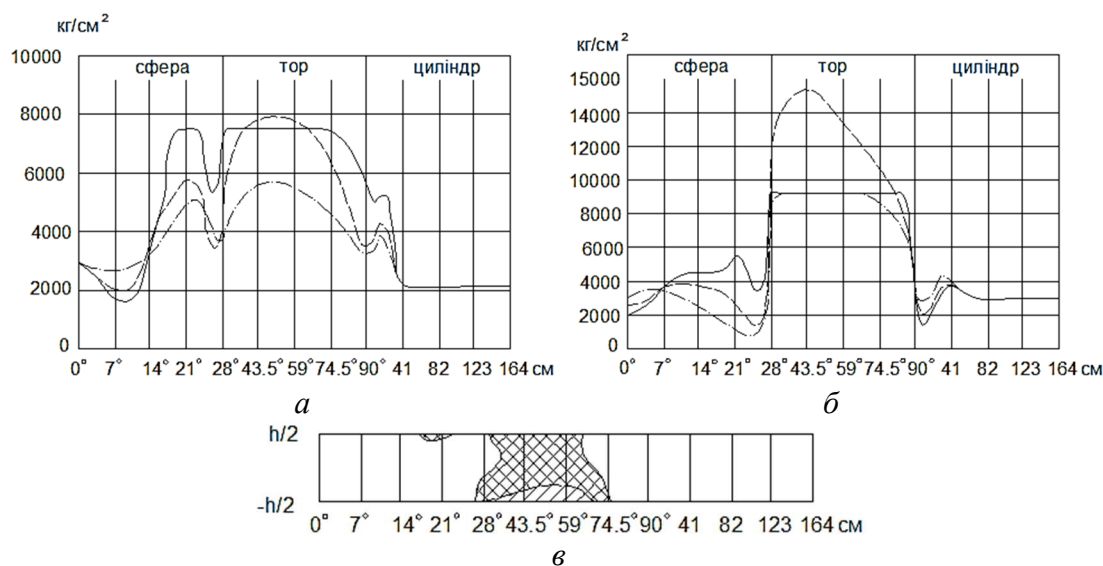


Рис. 8. Розподіл інтенсивності дотичних напружень дозправочного балона:  
а – внутрішня поверхня; б – зовнішня поверхня; в – характер розвитку зон пластичності

Наведені графіки переконливо свідчать про необхідність при розрахунку подібного роду конструкцій брати до уваги обидва види нелінійності. Так, інтенсивність дотичних напружень, обчислена на підставі припущення про пружну роботу матеріалу, значно перевищує величину  $\tau_s$ , що допускається для використовуваних марок сталі й у реальності не може мати місця. Водночас розподіл інтенсивності дотичних напружень і розвиток зон пластичності, отриманий без врахування значних переміщень, спотворює реальну картину і може бути підставою для неправильних висновків про умови роботи окремих конструктивних елементів за проектного дозправочного балона. Наприклад, відпо-

відно до даних такого розрахунку сферична оболонка перебуває при розглянутому навантаженні в пружній стадії роботи матеріалу, зона пластичності носить поверхневий характер і лише стикається з лінією стику сферичної і тороїдальної ділянок конструкції. Проте картина пластичного деформування, одержувана з урахуванням геометричної нелінійності, значно відрізняється, причому в бік погіршення умов роботи конструкції. Так, пластичні деформації в цьому випадку розповсюдились на всю товщину тороїдальної ділянки, що призвело до виникнення пластичного шарніра, перетнули лінію стику й навіть утворили нову зону пластичності на зовнішній поверхні сферичного елемента.

Підсумовуючи сказане раніше можна сформулювати такі основні висновки щодо розрахунку розглянутої конструкції занурюваного дозাপравочного балона:

1. У прийнятому діапазоні зміни товщини оболонки й характеристик матеріалу при визначенні критичних навантажень необхідно враховувати як фізичну, так і геометричну нелінійність.

2. Навантаження, що відповідає виникненню пластичних деформацій, у більшій частині прийнятого діапазону зміни параметрів можна оцінювати на підставі лінійного розрахунку. Однак для товщини порядку 2 см і  $\tau = 9000$  кг/см<sup>2</sup> необхідно враховувати великі переміщення.

Другий тип глибоководного апарату призначений для виконання рятувальних операцій і передбачає занурення на більші глибини. Конструкція рятувального апарату (рис. 9, а) являє собою систему, складену з трьох сферичних оболонок постійного радіуса, центри яких розташовані один від одного на відстані  $z_c = 200$  см.

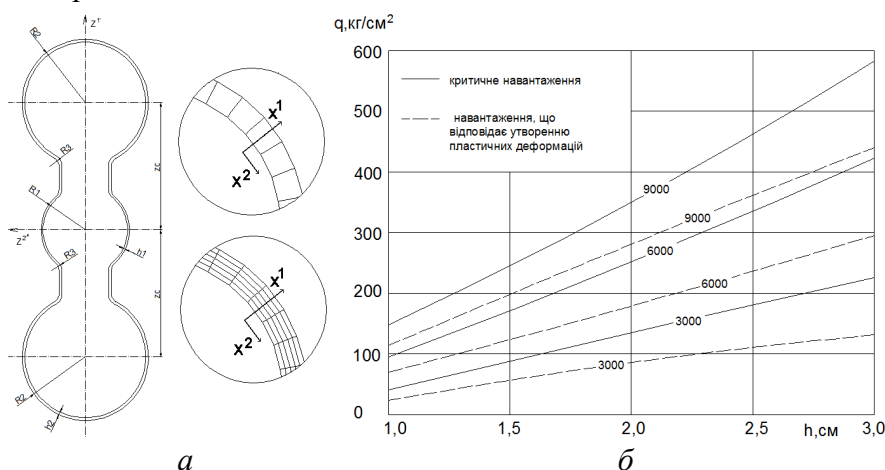


Рис. 9. Рятувальний апарат (а), залежність  $P_k$  і  $P_m$  від товщини  $h_1$  (б)

Радіус серединної поверхні центральної сфери  $R_1 = 70$  см, радіуси двох периферійних  $R_2 = 100$  см. Сфери з'єднані між собою двома циліндричними оболонками змінної товщини, радіуси серединної поверхні яких становить 50 см. Стик циліндрів і сфер виконано за допомогою елементів тороїдальної оболонки радіусом  $R_3 = 15$  см. Товщина центральної сфери та прилеглих до неї тороїдальних елементів  $h_1$ , товщина периферійних сфер і тороїдальних ділянок  $h_2$  становить  $1,5h_1$ . Товщина циліндричних оболонок лінійно змінюється вздовж утворюючої від  $h_1$  до  $h_2$ . Модуль пружності  $E = 205939,65$  МПа, коефіцієнт Пуассона  $\nu = 0,3$ . Були розглянуті оболонки товщиною  $h_1$  від 1 до 3 см із фізично і геометрично нелінійною постановкою при трьох значеннях  $\tau_s = 3000, 6000$  і  $9000$  кг/см<sup>2</sup>.

Оболонка апроксимувалась 70 СЕ в меридіональному напрямку (40 – на периферійній сферичній ділянці, по 5 – на тороїдальних, 10 – на циліндричній і 10 – на ділянці центральної сфери) і одним СЕ по товщині.

Результати розрахунку представлені на рис. 9, б у вигляді кривих, що відображають залежність  $P_k$  і  $P_m$  від товщини  $h_1$ . Умовні позначення ті ж самі, що і на рис. 4. Загалом

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вигляд кривих і якісний характер залежності співвідношень  $R_K/R_K(3000)$ ,  $P_T/P_T(3000)_T$ ,  $R_K/P_T$ ,  $P_K/P_K^I$ ,  $P_T/P_T^I$ , від  $h_1$  і  $\tau_s$  подібні до наведених раніше для конструкції дозправочного балона. Проте кількісні показники свідчать про значно менший вплив врахування геометричної нелінійності на результати розрахунку рятувального апарату в прийнятому діапазоні зміни параметрів. Оскільки відношення  $R_K/R_K(3000)$  ( $h_1 = 1 \text{ см}$ ,  $\tau_s = 9000 \text{ кг/см}^2$ ) становить 2.71, що дає змогу зробити висновок про близьку до пропорційної залежності критичного навантаження від величини  $\tau_s$ . Мінімальне значення  $P_K/P_K^I = 0,84$ .

Слід відзначити також зменшення відношення  $R_K/P_T$ , максимальне значення якого не перевищує 1,44.

Таким чином, для конструкції рятувального апарату справедливі такі положення:

1. У прийнятому інтервалі зміни  $h_1$  і  $\tau_s$  навантаження, що відповідають виникненню пластичних деформацій, можна визначати на основі лінійного розв'язку.

2. Критичні навантаження, в основному, допускається обчислювати без врахування великих переміщень. Для оболонок з товщиною і характеристиками матеріалу близькими до  $h_1 = 1 \text{ см}$  і  $\tau_s = 9000 \text{ кг/см}^2$  необхідно враховувати геометричну нелінійність, оскільки похибка в цьому випадку становить приблизно 20 %.

**Урахування великих пластичних деформацій при чисельному моделюванні процесу витяжки циліндричного стакану.** Для підтвердження достовірності результатів розв'язання задачі формозмінення тонкостінних тіл обертання була вирішена задача про напружено-пластичне деформування круглої пластини жорстким штампом у циліндричний стакан рис. 10.

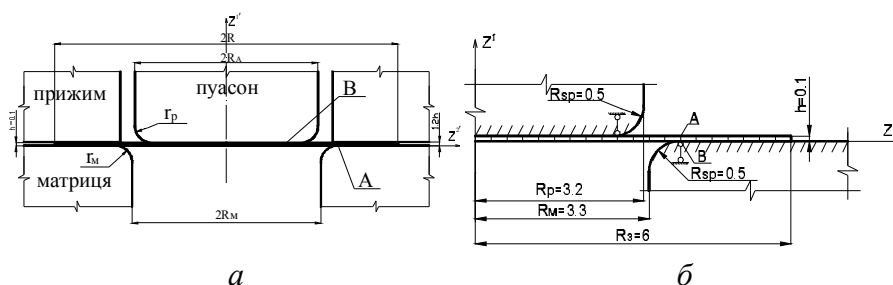


Рис. 10. Стенд витяжки круглої пластини в циліндричний стакан (а), розрахункова схема процесу витяжки (б)

Витяжка виконується за допомогою матриці й пуансона, який давить на середню частину заготовки, втягуючи її в матрицю. Робочі кромки матриці й пуансона скруглені дугами кіл, радіуси яких у декілька раз більші товщини заготовки (рис. 11).

Моделювання процесу витяжки пов'язане з істотними складнощами, оскільки для отримання задовільної картини напружено-деформованого стану необхідне одночасне врахування декількох факторів, таких як зміна форми заготовки, яке супроводжується зміною умов контакту з інструментом по мірі збільшення глибини витяжки, наявність зон пластичності тощо.

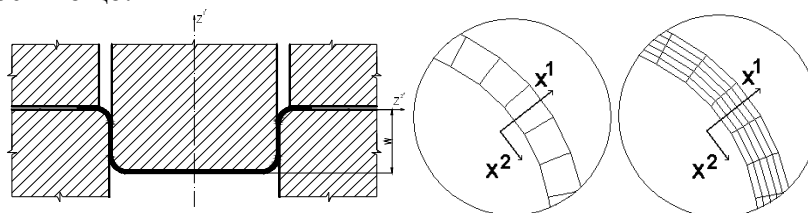


Рис. 11. Циліндричний стакан

При витяжці можливе формозмінення пластинки, зазвичай, обмежується її розривом, у тому місці, де діє найбільше за величиною розтягуюче меридіальне

напруження ( $\sigma^{2'2'}_{\max}$ ) [9]. Для цього при вивченні процесу витяжки особливу увагу потрібно приділити дослідженню факторів, які впливають на величину цих напружень і пов'язаних з ним зусиллям витяжки. Останнє є валивим моментом при підборці параметрів інструмента. Одним із таких факторів, що дозволяє суттєво змінити картину напруженого стану розглянутого процесу, є збільшення або зменшення геометричних розмірів інструмента, наприклад, радіуса скруглення матриці ( $r_m$ ) і пуансона ( $r_p$ ), зміну діаметра стакану, що витягується ( $R_m$ , рис. 10, а).

Результати, отримані в процесі апробування розроблених алгоритмів, порівнювалися з результатами, які наведені в роботі [10]. Крім цього, існують методики, в яких автори пропонують обчислювати основні параметри процесу формозмінення круглих пластин за наближеними формулами [9]. При виведенні останніх використовувались вагомні спрощення як при виборі розрахункової схеми, так і при виведенні співвідношень на основі моментної теорії оболонки. З ними також були проведені порівняння результатів і оцінювання якісної картини стану круглої пластини в процесі деформування її жорстким штампом. Розрахункова схема процесу витяжки показана на рис. 10, б.

Геометричні розміри штамп, пластини, умови закріплення й інші умови повністю збігаються з умовами контрольного прикладу. Фізико-механічні характеристики матеріалу: модуль пружності  $E = 196133$  МПа, коефіцієнт Пуасона  $\nu = 0,3$ . Витяжка пластини здійснюється до глибини  $6,1h$ , по товщині пластини прийнятий один СЕ.

На першому етапі для отримання стабільних результатів було досліджено вплив точності розв'язку системи нелінійних рівнянь, характеристикою якої є число  $\varepsilon$ , величина кроку  $\Delta u$ , кількість розбивки на СЕ пластини по довжині, на основні параметри процесу витяжки – силу витяжки  $P$  і максимальні розтягуючі і стискаючі меридіальні ( $\sigma^{2'2'}$ ) і кругові ( $\sigma^{3'3'}$ ) напруження. Результати досліджень наведені в табл. 2. Встановлено, що результати, отримані при  $\varepsilon = 10^{-3}$ ,  $N = 80$ ,  $\Delta u = 0,005$ , є стійкими і подальша зміна  $\varepsilon$ ,  $N$ ,  $\Delta u$  недоцільна.

Таблиця 2

Розв'язки системи нелінійних рівнянь при витяжці циліндричного стакану

	N			$\varepsilon$			$\Delta u$		
	20	40	80	0,01	0,001	0,0001	0,01	0,005	0,0025
P (кН)	33,96	32,10	30,90	29,74	30,90	31,35	32,87	30,90	30,86
	99 %	3,9 %	—	5,1 %	1,4 %	—	6,5 %	0,1 %	—
$\sigma^{2'2'}_{\max}$ (МПа)	4,35	4,53	4,68	4,30	4,68	4,76	4,61	4,68	4,71
	7,1 %	3,2 %	—	9,8 %	1,8 %	—	7,1 %	0,6 %	—
$\sigma^{3'3'}_{\max}$ (МПа)	4,00	3,47	3,34	3,50	3,34	3,28	3,04	3,34	3,42
	20,4 %	1,1 %	—	6,6 %	1,8 %	—	1,11 %	2,4 %	—

На рис. 12, а, б представлені епюри кругових і меридіальних напружень при глибині витяжки, рівній  $6,1h$ , по товщині елемента ( $N$ ), який у процесі деформування терпить найбільших змін напружено-деформованого стану.

На рис. 12 цей результат представлений суцільною лінією, а пунктирною лінією позначені дані, наведені в роботі [10].

При деформуванні пластини до глибини  $30h$  елемент В (рис. 12, в), розміщений спершу на горизонтальній частині матриці, переходить на вертикальну стінку. При цьому в ньому розвиваються значні пластичні деформації. Шляхи деформування точок А і В належать відповідно верхньому і нижньому волокну рис. 12, в. Порівняння напружень і шляхів деформування окремих точок показало добрий збіг.

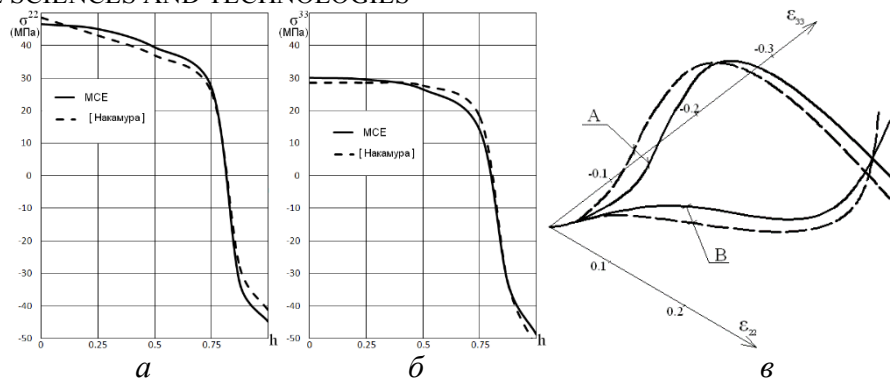


Рис. 12. Епюри кругових (а) і меридіальних (б) напружень від глибини витяжки, деформування пластини до глибини 30h (в)

Згідно з наявними методиками за наближеними формулами були обчислені значення максимального меридіального напруження  $\sigma_{\max}^{22}$  при витяжці до глибини, рівній  $6,1h$ . Виявилось, що різниця  $\sigma_{\max}^{33}$  наведеного в контрольному прикладі, і результатів, отриманих відповідно до розробленої методики, становить 1,1%. Ця різниця обгрунтовується використанням різних вихідних співвідношень.

У роботі [10] прийняті співвідношення теорії тонких оболонок, а при використанні одного СЕ по товщині, як показано в роботі [11], МСЕ еквівалентний теорії оболонок середньої товщини типу Рейсснера. Використання цієї теорії є більш обгрунтованим, оскільки в зоні контакту відношення товщин оболонки до радіуса скруглення досягає в процесі формозмінення  $1/5$ . Різниця у вибраних вихідних співвідношеннях можна обгрунтувати збільшенням у контрольному прикладі згинаючої складової напруження в зоні контакту з інструментом.

Крім цього, було проведено порівняння результатів, отриманих за методиками на основі МСЕ з величинами меридіальних максимальних напружень  $\sigma_{\max}^{22}$ , обчислених за наближеним формулам [9]. Зясувалось, що в цьому випадку результати розрахунку [9] суттєво занижені за рахунок згинаючої складової напружень (табл. 3). Якісна картина напружено-деформованого стану добре узгоджується з експериментальними даними, наведеними автором роботи [12].

Таблиця 3

Меридіальні напруження  $\sigma_{\max}^{22}$  при витяжці до глибини, рівній  $6,1h$

	$\sigma^{22}$ (кг/мм <sup>2</sup> )	$\sigma^{22}$ (кг/мм <sup>2</sup> )	$\sigma^{22}_{(MEM)}$ (кг/мм <sup>2</sup> )
МСЕ	46,80	28,06	18,74
Накамура, [10], (МСЕ)	49,00	27,50	21,50
Попов А.Е.	25,68	20,23	5,45

**Висновки відповідно до статті.** Розроблена методика чисельного моделювання процесів пружно-пластичного деформування і формозмінення тіл обертання з урахуванням контакту взаємодіючих поверхонь у вигляді комплексу програм, забезпечує високий рівень автоматизації всіх етапів виконання розрахунку. Аналіз результатів розв'язку контрольних прикладів показав достовірність, універсальність і ефективність використання методики і розробленого комплексу до моделювання процесів деформування тонкостінних об'єктів, що супроводяться істотним формозміненням за рахунок деформацій пластичності. Викладена методика дозволяє з високою точністю визначати напружено-деформований стан складених оболонок обертання середньої товщини у фізичній і геометрично нелінійних постановках при використанні одного СЕ по товщині.

#### Список використаних джерел

1. Баженов В. А. Нелінійне деформування та стійкість пружних оболонок неоднорідної структури / В. А. Баженов, О. П. Кривенко, М. О. Соловей. – К. : ЗАТ «Віпол», 2010. – 315 с.

2. *Баженов В. А.* Особливості використання моментної схеми скінчених елементів (МССЕ) при нелінійних розрахунках оболонок і пластин / В. А. Баженов, О. І. Гуляр, О. С. Сахаров, С. О. Пискунов, Ю. В. Максим'юк // *Опір матеріалів і теорія споруд*. – 2014. – Вип. 92. – С. 3-16.

3. *Максим'юк Ю. В.* Індиферентність тензорів деформацій, напружень та їх прирощень при умові енергетичної сполученості / Ю. В. Максим'юк // *Опір матеріалів і теорія споруд*. – 2017. – Вип. 99. – С. 13-25.

4. *Максим'юк Ю. В.* Постановка задачі про вплив геометричної нелінійності на несучу здатність і закритичну поведінку тонкостінних та комбінованих вісесиметричних тіл / Ю. В. Максим'юк // *Опір матеріалів і теорія споруд*. – 2016. – Вип. 97. – С. 50-59.

5. *Сахаров А. С.* Метод конечных элементов в механике твердых тел / А. С. Сахаров, В. Н. Кислюкий, В. В. Киричевский. – К. : Вища шк., 1982. – 480 с.

6. Особливості використання моментної схеми скінчених елементів (МССЕ) при лінійних розрахунках оболонок і пластин / С. О. Пискунов, І. І. Солодей, Ю. В. Максим'юк, А. Д. Солоденко // *Опір матеріалів і теорія споруд*. – 2013. – Вип. 91. – С. 59-75.

7. *Соколовский В. В.* Теория пластичности / В. В. Соколовский. – М. : Высш. шк., 1969. – 608 с.

8. *Маркол, Р. В.* Определение больших прогибов упругопластических оболочек вращения / Р. В. Маркол // *Ракетная техника и космонавтика*. – 1970. – № 9. – С. 113–121.

9. *Пальмов В. А.* Колебания упруго-пластических тел / В. А. Пальмов. – М.: Наука, 1976. – 328 с.

10. *Накамура Я.* Анализ упруго-пластической деформации листовых металлов при глубокой вытяжке через матрицу путем рассмотрения обтекания листовым металлом профилей и пуансона / Я. Накамура, Т. Татэнами, К. Сайто // *Cocey to kako, J. Jap. Soc. Technol. Plast.* – 1978. – 19, № 213. – С. 890–896.

11. *Романов К. И.* Ползучесть и разрушение цилиндрической оболочки при больших деформациях / К. И. Романов // *Машиноведение*. – 1982. – № 2. – С. 78–82.

12. *Мелещенко А. Г.* Конечноэлементный анализ явлений в плоском контакте упругих шероховатых тел под действием нормальных и касательных нагрузок / А. Г. Мелещенко // *Рук. Деп. ВИНТИ 1977, №2881-77 Деп.* – С. 17.

### References

1. Bazhenov, V. A., Kryvenko, O. P., & Solovej, M. O. (2010). *Neliniine deformuvannia ta stiikist pruzhnykh obolonok neodnorodnoi struktury* [Nonlinear deformation and stability of elastic membranes of non-uniform structure]. Kyiv: ZAT «Vipol» [in Ukrainian].

2. Bazhenov, V. A., Huliar, O. I., Sakharov, O. S., Pyskunov, S. O., Maksimyuk, Yu. V. (2014). Osoblyvosti vykorystannia momentnoi skhemy skinchenykh elementiv (MSSE) pry neliniinykh rozrakhunkakh obolonok i plastyn [Features application circuit moment finite element (MSSE) nonlinear calculations of plates and shells]. *Opir materialiv i teoriia sporud – Strength of Materials and Theory of Structures*, 92, 3–16 [in Ukrainian].

3. Maksimyuk, Yu. V. (2017). Indyferentnist tensoriv deformatsii, napruzhen ta yikh pryroshchen pry umovi enerhetychnoi spoluchenosti [Indifference of strain and stress tensors and their increments under condition of energy compability]. *Opir materialiv i teoriia sporud – Strength of Materials and Theory of Structures*, 99, 13–25 [in Ukrainian].

4. Maksimyuk, Yu. V. (2016) Postanovka zadachi pro vplyv heometrychnoi neliniinosti na nesuchu zdatnist i zakrytychnu povedinku tonkostinnykh ta kombinovanykh visesymetrychnykh til [Statement of the problem of effect of geometric nonlinearity on load capacity and supercritical behaviour of thin-wall and combined axisymmetrical bodies]. *Opir materialiv i teoriia sporud – Strength of Materials and Theory of Structures*, 97, 50–59 [in Ukrainian].

5. Saharov, A. S., Kislookij, V. N., Kirichevskij, V. V. (1982). *Metod konechnykh jelementov v mehanike tverdykh tel* [The finite element method in the mechanics of solids]. Kyiv: Vishha shkola [in Ukrainian].

6. Pyskunov, S. O., Solodei, I. I., Maksimyuk, Yu. V., Solodenko, A. D. (2013). Osoblyvosti vykorystannia momentnoi skhemy skinchenykh elementiv (MSSE) pry liniinykh rozrakhunkakh obolonok i plastyn [Features application moment finite element sheme (MSSE) for linear calculations of plates and shells]. *Opir materialiv i teoriia sporud – Strength of Materials and Theory of Structures*, 91, 59–75 [in Ukrainian].

7. Sokolovskii, V. V. (1969) *Teoriia plastichnosti* [Theory of plasticity]. Moscow: Vysshiaia shkola [in Ukrainian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Markol, P. V. (1970). Opredelenie bol'shikh progibov uprugo-plasticheskikh obolochek vrashheniya [Determination of large deflections of elastic-plastic shells of revolution]. *Raketnaia tekhnika i kosmonavtika – Missile technology and astronautics*, 9, 113–121 [in Russian].

9. Palmov, V. A. (1976). *Kolebaniia uprugo-plasticheskikh tel [Oscillations of elastic-plastic bodies]*. Moskov: Nauka [in Russian].

10. Nakamura, Ja., Tatjenami, T., Saito, K. (1978). Analiz uprugo – plasticheskoy deformacii listovih metallov pri glubokoj vytjazhke cherez matricu putem rasmotreniya obtekanija listovym metallom profelej i puasona [Analysis of the elastoplastic deformation of sheet metals during deep drawing through the matrix by means of a review of the flow past sheet metal of the profiles and punch]. *Cocey to kako, J. Jap. Soc. Technol. Plast*, 19, 213, 890–896 [in Russian].

11. Romanov, K. I. (1982). Polzuchest' i razrusheniye cilindricheskoy obolochki pri bol'shikh deformacijah [Creep and failure of a cylindrical shell at large deformations]. *Mashinovedinie – Engineering Science*, 2, 78–82 [in Russian].

12. Meleshhenko, A. G. (1977). Konechnoelementnyi analiz iavlenii v ploskom kontakte uprugikh sherokhovatyh tel pod deksstviem normalnykh i kasatelnykh nagruzok [Finite-element analysis of phenomena in the plane contact of elastic rough bodies under the influence of normal and tangential loads]. *Ruk. Dep. VINITI*, 2881-77, 17 [in Russian].

UDC 539.376

Alexander Gulyar, Sergey Piskunov, Yurii Maksimyyuk

### INVESTIGATION OF NONLINEAR DEFORMATION OF COMPLICATED MEDIUM THICKNESS ROTATION SHELLS

**Urgency of the research.** Based on the literature review, it can be argued that, to date, the problem of studying of nonlinear deformation of complicated shells of rotation of medium thickness is not considered sufficiently. The calculation of shells as systems with complicated structure cause not only computational but also fundamental methodological difficulties. The solution of this problem leads to necessity of creation of new universal calculation models. Most successfully, this problem can be solved by Finite Element Method (FEM) based on the implementation of the Moment Scheme of Finite Element Method (MFEM).

**Target setting.** The modern development of computer technology stimulates the development of new refined research methods for shells that have a wider range of uses than traditional methods of calculating individual classes of shells. The development of automated software systems, which are a necessary tool for practical solution to the problem through numerical research are important.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Classical works and modern publications in domestic and foreign sources, corresponding to this problem were considered both.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Implementation of methods for studying of nonlinear deformation process of complicated shells of rotation of medium thickness.

**The research objectives.** On the basis of MFEM, the method of solving of stress-strain state problem of the selected class shells of rotation taking into account physical and geometric non-linearity is realized.

**The statement of basic material.** Based on the initial relationships of the spatial problem of the theory of elasticity and MFEM technique, an effective approach to the stress-strain state determination of complicated shells of rotation of the medium thickness in the presence of large displacements and deformations of plasticity is given. It is shown by comparing with spatial solutions that the developed method allows to obtain reliable results, providing a significant reduction in computing costs.

**Conclusions.** The analysis of decision results of control examples showed the reliability, universality and efficiency of the methodology and the developed software to simulate the processes of deformation of thin-walled objects, which are accompanied by a significant form change due to plasticity deformation.

**Keywords:** finite element method, moment scheme of finite elements; plasticity; complicated shells of rotation of medium thickness; geometric nonlinearity; immersion apparatus; extraction of cylindrical glass.

Fig.: 12. Table: 3. References: 12.

УДК 539.376

Александр Гулярь, Сергей Пискунов, Юрий Максимюк

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВНЫХ ОБОЛОЧЕК ВРАЩЕНИЯ СРЕДНЕЙ ТОЛЩИНЫ

**Актуальность темы исследования.** Исходя из обзора литературы, можно утверждать, что на сегодняшний день проблема исследования нелинейного деформирования сложных оболочек вращения средней толщины освещены недостаточно полно. Расчет оболочек как систем с усложненной структурой вызывают не только вычислительные, но и принципиальные методические трудности. Их решение приводит к необходимости создания новых универсальных расчетных моделей. Успешно эта проблема может быть решена методом конечных элементов (МКЭ) на основе реализации методики моментной схемы конечных элементов (МСКЭ).

**Постановка проблеми.** Современное развитие вычислительной техники стимулирует разработку новых уточненных методов исследования оболочек, имеющих широкий круг использования, чем традиционные методы расчета отдельных классов оболочек. Важное значение приобретает разработка автоматизированных программных комплексов, которые являются необходимым инструментом для практического решения рассматриваемой проблемы из-за проведения многочисленных исследований.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены как классические работы, так и современные публикации в отечественных и зарубежных источниках, соответствующие данной проблематике.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Реализация методики исследования нелинейного деформирования составных оболочек вращения средней толщины.

**Постановка задачи.** На основе МСКЕ реализуется методика решения задачи о напряженно-деформированном состоянии выделенного класса оболочек вращения с учетом физической и геометрической нелинейности.

**Изложение основного материала.** На основе исходных соотношений пространственной задачи теории упругости и методики МСКЕ приведен эффективный подход к определению напряженно-деформированного состояния составных оболочек вращения средней толщины при наличии больших перемещений и деформаций пластичности. Путем сравнения с пространственными решениями показано, что разработанная методика позволяет получать достоверные результаты, обеспечивая существенное уменьшение вычислительных затрат.

**Выводы в соответствии со статьей.** Анализ результатов решения контрольных примеров показал достоверность, универсальность и эффективность использования методики и разработанного программного комплекса к моделированию процессов деформирования тонкостенных объектов, сопровождающиеся существенным формоизменением за счет деформаций пластичности.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов; моментная схема конечных элементов; пластичность; составные оболочки вращения средней толщины; геометрическая нелинейность; погружаемые аппараты; вытяжка цилиндрического стакана.

Рис.: 12. Табл.: 3. Библ.: 12.

**Гуляр Олександр Іванович** – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури (просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03680, Україна).

**Гуляр Александр Иванович** – доктор технических наук, профессор, Киевский национальный университет строительства и архитектуры (просп. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03680, Украина).

**Gulyar Alexander** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kyiv National University of Construction and Architecture (31 Povitroflotsky Av., 03680 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7644-436X>

**ResearcherID:** L-9700-2018

**Scopus Author ID:** 6602718875

**Пискунов Сергій Олегович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри будівельної механіки, заступник директора, Науково-дослідний інститут будівельної механіки КНУБА (просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03680, Україна).

**Пискунов Сергей Олегович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительной механики, заместитель директора, Научно-исследовательский институт строительной механики КНУСА (просп. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03680, Украина).

**Piskunov Sergey** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department of Structural Mechanics, Deputy Director, Research Institute of Structural Mechanics KNUBA (31 Povitroflotsky Av., 03680 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** s\_piskunov@ua.fm

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3987-0583>

**ResearcherID:** M-2524-2018

**Scopus Author ID:** 7004154344

**Максим'юк Юрій Всеволодович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри будівельної механіки заступник декана будівельного факультету, Київський національний університет будівництва і архітектури (просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03680, Україна).

**Максимюк Юрий Всеволодович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, заместитель декана строительного факультета, Киевский национальный университет строительства и архитектуры (просп. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03680, Украина).

**Maksimyuk Yurii** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Structural Mechanics, deputy dean of the building faculty, Kyiv National University of Construction and Architecture (31 Povitroflotsky Av., 03680 Kyiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5814-6227>

**ResearcherID:** L-9641-2018

**Scopus Author ID:** 37087356800



Ярослав Іванчук

## МАТЕМАТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ СТІЙКОСТІ КОЛИВАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО ВІБРАЦІЙНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

**Актуальність теми дослідження.** Застосування вібраційної технології вимагає поглибленого вивчення фізичних явищ, які виникають у різних коливальних системах, з метою визначення оптимальних параметрів вібраційного обладнання для підвищення ефективності технологічних процесів.

**Постановка проблеми.** Дія вібрації в нелінійних механічних системах приводить до появи фізичних явищ, які можуть мати як корисний, так і небезпечний характер. Необхідність пояснення і математичного опису ряду своєрідних фізичних явищ, пов'язаних із дією вібрацій на механічні системи, дозволяє розробляти перспективні математичні методи розрахунку складних коливальних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У більшості праць на базі розроблених окремих математичних моделей було розглянуто вплив вібрацій на механічні системи, які дозволили теоретично дослідити процес синхронізації і області стійкості коливальних систем.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** У наукових працях відсутній єдиний універсальний математичний метод, який дозволяє теоретично досліджувати коливальні системи на умову стійкості й рівноваги.

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка універсального математичного методу для визначення умови стійкості й положень рівноваги коливальних систем під дією зовнішнього вібраційного навантаження.

**Виклад основного матеріалу.** За інтегральною умовою Пуанкаре-Ляпунова на базі диференціальних рівнянь руху й відомих критеріїв оптимальності квазіконсервативних систем були визначені положення квазірівноваги коливальних систем.

**Висновки відповідно до статті.** Для коливальної системи у вигляді фізичного маятника з вібруючою віссю, математично описано фізичне явище «відведення», що характеризується зміщенням елементів коливальної системи від аналогічних положень рівноваги без накладання зовнішніх вібрацій. Досліджено ефект самосинхронізації для коливальної системи, що представлена у вигляді незрівноважених роторів на вібруючій основі.

**Ключові слова:** вібрації; коливальна система; стійкість; екстремум; рівновага; оптимальність; синхронізація.  
Рис.: 2. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Вібраційна техніка й технологія, яка представлена у вигляді коливальних систем, з кожним роком розширює сфери свого застосування й посідає всебільш міцні позиції в різних галузях промисловості, будівництва, транспорту та сільськогосподарства [1]. Застосування вібраційної техніки дає змогу корінним чином удосконалити традиційні технологічні процеси [2]. Зростаючі вимоги до ефективності вібраційної техніки вимагають поглибленого вивчення фізичних закономірностей впливу вібрації на хід технологічних процесів і подальшого розвитку питань вібраційної технології.

**Постановка проблеми.** Незважаючи на те, що фізичні коливальні системи нелінійні, ряд задач теоретичного дослідження коливальних механічних систем може бути успішно розглянуто в лінійній постановці, тобто без урахування нелінійних факторів [2]. Дія вібрації в нелінійних механічних системах призводить до своєрідних, часто несподіваних явищ [1]. Ці явища, з одного боку, можуть бути використані в технології і лежать в основі принципів дії ряду високоефективних машин; з іншого – ті ж самі явища можуть бути причиною небажаних і небезпечних ситуацій [1]. Вимоги розвитку і вдосконалення вібраційної техніки вимагає необхідність пояснення і математичного опису ряду своєрідних фізичних явищ, пов'язаних із дією вібрацій на механічні системи, що представлені у вигляді коливальних систем.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У статті [3] для вивчення характеристик синхронізації коливальної системи застосовано метод усереднення малих параметрів, який дозволив отримати рівняння балансу та критерій стійкості системи.

У роботі [4] на базі диференціальних рівнянь руху механічної системи сформульована узагальнена задача вібраційної нелінійної механіки в розв'язку невривноважених твердих тіл. Розглянуто окремі випадки: ефект Зоммерфельда, явище стійкості верхнього положення маятника на вібруючій основі, ефект «застрягання» маятників на резонансних частотах, явища автоматичного балансування роторів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Окремою частиною в теорії вібраційних процесів і машин [5] є теоретичне дослідження явищ, що виникають під час дії вібрації в нелінійних коливальних системах. До таких явищ відносяться зник-

нення колишніх і поява нових положень рівноваги і видів руху коливальної системи, зміна характеру положень рівноваги (тобто їхньої стійкості або нестійкості) [4; 5]. Також можна ще зазначити явище вібраційного зв'язку, зокрема, самосинхронізацію неврівноважених роторів [3; 5].

**Постановка завдання.** Метою статті є розробка математичного методу теоретичного дослідження поведінки коливальних систем, які представлені у вигляді фізичного маятника і незрівноважених роторів для виявлення умови стійкості й рівноваги цих механічних систем.

**Виклад основного матеріалу.** Для з'ясування ефекту впливу на коливальні системи та механізми під дією вібраційного навантаження, розглянемо поведінку фізичного маятника з віссю, віброуючою в двох взаємоперпендикулярних напрямках за гармонійним законом із деякою частотою  $\omega$  (рис. 1). Нехай вісь підвісу маятника здійснює коливання за законом:

$$x(t) = H \sin(\omega t), \quad y(t) = G \cos(\omega t + \theta), \quad (1)$$

де  $G$  і  $H$  – амплітуди коливань відповідно у вертикальному і горизонтальному напрямках;  $\theta$  – зсув фаз коливання.

Тоді рух фізичного маятника описується диференціальним рівнянням:

$$I\ddot{\varphi} + \eta\dot{\varphi} + mgl \sin \varphi + ml\omega^2 [H \cos(\varphi) \sin(\omega t) - G \sin(\varphi) \cos(\omega t + \theta)] = 0, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут відхилення маятника від нижнього вертикального положення;  $I$  – момент інерції фізичного маятника;  $m$  – маса фізичного маятника;  $l$  – відстань від центра мас фізичного маятника;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $\eta$  – коефіцієнт в'язкого опору.

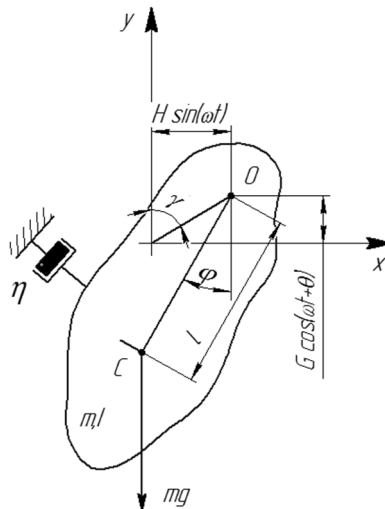


Рис. 1. Розрахункова схема фізичного маятника з віброуючою віссю обертання

Розв'яжемо цю задачу методом Пуанкаре-Ляпунова [5; 6]. Складемо вираз для кінетичної і потенціальної енергії системи:

$$E_K = \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m (\dot{x}_C^2 + \dot{y}_C^2), \quad E_{II} = mgy_C, \quad (3)$$

де  $x_C = x - l \sin \varphi$ ,  $y_C = y - l \cos \varphi$  – координати центра ваги маятника  $C$ ,  $I$  – момент інерції відносно центра ваги, а координати осі підвісу  $x(t)$  і  $y(t)$  визначаються формулами (1). Із рівнянь (3) визначаємо Лагранжیان [6; 7]:

$$L = E_K - E_{II} = \frac{1}{2} I \dot{\varphi}^2 + \frac{1}{2} m [\dot{x}^2 + \dot{y}^2 - 2l\dot{\varphi}(\dot{x} \cos \varphi - \dot{y} \sin \varphi)] - mg(y - l \cos \varphi), \quad (4)$$

де  $I = I_0 + ml^2$  – момент інерції маятника відносно осі підвісу.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

За умовою Пуанкаре-Ляпунова [6–8] стійким у першому наближенні рухам будуть відповідати екстремальні точки функції  $L$ . Тоді нам необхідно знайти таку функцію, щоб  $L(\dot{\varphi}^*) = \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{\varphi})$ , де  $\Gamma = \emptyset$  і  $\Gamma \in R^n$ . Для цього знаходимо:

$$\frac{\partial L(\dot{\varphi})}{\partial \dot{\varphi}} = I\dot{\varphi} - lm(\dot{x} \cos \varphi - \dot{y} \sin \varphi) = 0, \Rightarrow \dot{\varphi} = (lm(\dot{x} \cos \varphi - \dot{y} \sin \varphi)) / I.$$

Тоді

$$\min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{\varphi}) = -\frac{m^2 l^2 (\dot{x} \cos \varphi - \dot{y} \sin \varphi)^2}{2I} + \frac{m}{2} (\dot{x}^2 + \dot{y}^2) - mgy + mgl \cos \varphi. \quad (5)$$

Рівняння (1) підставляємо у функцію (5):

$$\begin{aligned} \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{\varphi}) = & -\frac{m^2 l^2}{2I} (H\omega \cos(\omega t) \cos \varphi + G\omega \sin(\omega t + \theta) \sin \varphi)^2 + \\ & + \frac{m}{2} (H^2 \omega^2 \cos^2(\omega t) + G^2 \omega^2 \sin^2(\omega t + \theta)) - mgy + mgl \cos \varphi. \end{aligned} \quad (6)$$

Згідно з інтегральною ознакою стійкості Пуанкаре-Ляпунова [6; 9] для системи слабозв'язаних квазіконсервативних об'єктів, якщо функція  $\Lambda(\dot{\varphi})$ , що являє собою середнє значення Лагранжіана  $\min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{\varphi})$  має в точці  $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1^0, \dots, \dot{\varphi}_n = \dot{\varphi}_n^0$  мінімум чи максимум, тоді така точка визначає стійке по першому наближенню періодичний розв'язок, інші стаціонарні точки функції  $\Lambda(\dot{\varphi})$  вимагають спеціального розгляду.

Тоді із рівняння (6):

$$\begin{aligned} \Lambda(\dot{\varphi}) = & \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{\varphi}) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[ -\frac{m^2 l^2}{2I} (H\omega \cos(\omega t) \cos \varphi + G\omega \sin(\omega t + \theta) \sin \varphi)^2 + \right. \\ & \left. + \frac{m}{2} (H^2 \omega^2 \cos^2(\omega t) + G^2 \omega^2 \sin^2(\omega t + \theta)) - mgy + mgl \cos \varphi \right] dt. \end{aligned}$$

Враховуючи, що:

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin(\omega t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos(\omega t) dt = 0; \quad \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\sin(\omega t) \cos(\omega t)) dt = 0, \text{ а}$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2(\omega t) dt = \frac{1}{2}, \text{ тоді отримуємо:}$$

$$\Lambda(\dot{\varphi}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{\varphi}) dt = \frac{m^2 l^2 \omega^2}{8I} \left[ (G^2 - H^2) \cos 2\varphi + 2HG \sin 2\varphi \sin \theta \right] + mgl \cos \varphi + C,$$

де  $C = m\omega^2 (G^2 + H^2) \left[ \frac{1}{4} - \frac{ml^2}{8I} \right] - mgy$  – деяка стала, що не залежить від кута  $\varphi$  і яка не суттєва для подальшого дослідження.

Прийmemo такі позначення:  $\gamma$  – кут зовнішніх амплітуд коливання осі обертання фізичного маятника,  $\frac{G}{\sqrt{G^2+H^2}} = \cos \gamma$ ,  $\frac{H}{\sqrt{G^2+H^2}} = \sin \gamma$ ,  $V_0 = -\frac{(ml\omega)^2}{4I} (G^2 + H^2)$ .

Узагальнюючи вищенаведені енергетичні залежності, можна ввести потенціальну функцію:

$$D = \Lambda(\dot{\varphi}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \min_{\varphi \in \Gamma} L(\dot{\varphi}) dt = -\frac{1}{2} V_0 [\cos 2\varphi \cos 2\gamma + \sin 2\varphi \sin 2\gamma \sin \theta] - mgl \cos \varphi. \quad (7)$$

За оптимальною ознакою стійкості, запропонованій Т. Г. Стрижаком [6; 10], для систем із динамічним збудженням якщо в деякій точці  $\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_1^0, \dots, \dot{\varphi}_n = \dot{\varphi}_n^0$  функція  $D = \Lambda(\dot{\varphi})$  має грубий мінімум, тоді цій точці при достатньо малих значеннях  $\dot{\varphi}_1$  відповідає стійка квазірівновага системи. Тоді із рівняння (7) при  $\theta = \frac{1}{2} \pi$ :

$$\left. \frac{\partial D}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=\varphi^*} = \left. \frac{\partial \left( -\frac{1}{2} V_0 [\cos(\varphi - \gamma)] - mgl \cos \varphi \right)}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=\varphi^*} = \quad (8)$$

$$= -\frac{1}{2} V_0 \sin(2(\varphi - \gamma)) + mgl \sin \varphi = 0$$

$$\left. \frac{\partial^2 D}{\partial \varphi^2} \right|_{\varphi=\varphi^*} = \left. \frac{\partial^2 \left( -\frac{1}{2} V_0 [\cos(\varphi - \gamma)] - mgl \cos \varphi \right)}{\partial \varphi^2} \right|_{\varphi=\varphi^*} = \quad (9)$$

$$= \frac{1}{2} V_0 \cos(2(\varphi - \gamma)) + mgl \cos \varphi > 0.$$

Для початку давайте розглянемо випадок, коли прискорення вільного падіння  $g$  настільки мала в порівнянні із прискоренням вібрації  $A\omega^2$ , що нею можна знехтувати. Положення квазірівноваги із рівняння (8):

$$\sin 2(\varphi^* - \gamma) = 0, \quad (10)$$

а умова стійкості із рівняння (9):

$$\cos 2(\varphi^* - \gamma) > 0. \quad (11)$$

Таким чином із рівняння (10) ми отримали два положення рівноваги:

$$\varphi_1^* = \gamma, \quad \varphi_2^* = \gamma + \pi. \quad (12)$$

Із рівняння (11) отримуємо умову рівноваги для кутів  $\varphi^*$ :

$$\varphi^* > \gamma \pm \frac{\pi}{2}.$$

Якщо вібрація осі обертання фізичного маятника буде дорівнювати нулю ( $\omega=0$ ), при вільному коливанні ( $g \neq 0$ ), тоді положення рівноваги буде також дорівнювати нулю  $\varphi_0^* = 0$ .

Звідси випливає, що дія вібрації зводиться до того, що маятник ніби притягується до положень  $\varphi_1^* = \gamma$ ,  $\varphi_2^* = \gamma + \pi$ . Явище притягання до вказаних положень називається «відведення» (зміщення від правильного положення) елементів коливальної системи.

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Також відомо, що під дією вібраційного навантаження на коливальні системи, які являють собою два або більше кінематично і електрично не зв'язаних між собою роторів, встановлених на загальній рухомій платформі й приводяться в рух від незалежних асинхронних двигунів, виникає ефект самосинхронізації. Цей ефект полягає в синхронному обертанні, тобто з однаковими або кратними середнім кутовим швидкостям і з визначеними взаємними фазами. Розглянемо самосинхронізацію двох номінально однакових дебалансних віброзбуджувачів на віброуючій платформі масою  $M$  із однією степеню вільності (рис. 2) за умови, що  $m_1 e_1 \omega^2 = m_2 e_2 \omega^2 = m \varepsilon \omega^2$ . Дебалансні віброзбуджувачі складаються із збуджуючих роторів масою  $m_1, m_2$  і з ексцентриситетом  $e_1, e_2$  з фазою обертання  $\varphi_1$  і  $\varphi_2$  відповідно. Рухомі платформи зв'язана з нерухою основою пружним елементом жорсткістю  $c_x$ .

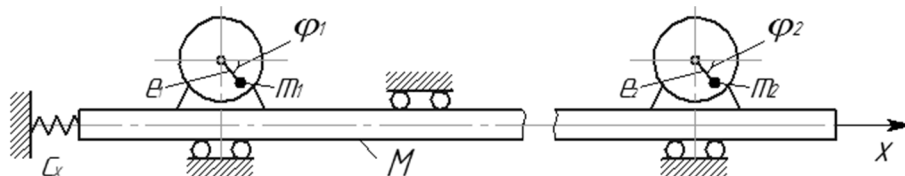


Рис. 2. Розрахункова схема коливальної системи із дебалансними механічними віброзбуджувачами

Рівняння коливання платформи під час обертання неврівноважених роторів описується рівнянням:

$$M\ddot{x} + c_x \dot{x} = m\varepsilon\omega^2 [\cos(\omega t + \alpha_1) + \cos(\omega t + \alpha_2)]. \quad (13)$$

Розв'язок цього рівняння відповідає встановленим вимушеним коливанням платформи і має вид [11; 12]:

$$x = - \left( \frac{\omega^2}{\omega^2 - \omega_0^2} \right) \left( \frac{m\varepsilon}{M} \right) [\cos(\omega t + \alpha_1) + \cos(\omega t + \alpha_2)], \quad (14)$$

де  $\omega_0^2 = c_x/M$  – частота власних коливань рухомої платформи.

Розв'яжемо цю задачу також методом Пуанкаре-Ляпунова [6; 10]. Складемо вираз для кінетичної і потенціальної енергії системи:

$$E_K = \frac{1}{2} M \dot{x}^2, \quad E_{II} = \frac{1}{2} c_x x^2. \quad (15)$$

Із рівнянь (14) і (15) визначаємо Лагранжіан:

$$L = E_K - E_{II} = \frac{1}{2} M \dot{x}^2 - \frac{1}{2} c_x x^2. \quad (16)$$

За умовою Пуанкаре-Ляпунова [6] стійким у першому наближенні рухам будуть відповідати екстремальні точки функції  $L$ . Тоді нам необхідно знайти таку функцію, щоб  $L(\dot{x}^*) = \min_{\dot{x} \in \Gamma} L(\dot{x})$ , де  $\Gamma = \emptyset$  і  $\Gamma \in R^n$ . Для цього знаходимо:

$$\frac{\partial L(\dot{x})}{\partial \dot{x}} = M \dot{x} = 0,$$

звідки визначаємо  $\dot{x} = 0$ .

Тоді із рівняння (14) і (16):

$$\min_{\dot{x} \in \Gamma} L(\dot{x}) = - \frac{1}{2} c_x x^2 = - \frac{\omega^4 \omega_0^2}{\left( \omega^2 - \omega_0^2 \right)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{2M} [\cos(\omega t + \alpha_1) + \cos(\omega t + \alpha_2)]^2. \quad (17)$$

Згідно з інтегральною ознакою стійкості Пуанкаре-Ляпунова [6; 10; 12] для системи слабозв'язаних квазіконсервативних об'єктів, якщо функція  $\Lambda(\dot{\varphi})$ , що являє собою середнє значення лагранжіана  $\min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{x})$  має в точці  $\dot{x}_1 = \dot{x}_1^0, \dots, \dot{x}_n = \dot{x}_n^0$  мінімум чи максимум, тоді така точка визначає стійке по першому наближенню періодичний розв'язок, інші стаціонарні точки функції  $\Lambda(\dot{x})$  вимагають спеціального розгляду.

Тоді із рівняння (6):

$$\Lambda(\dot{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{x}) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left[ -\frac{\omega^4 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{2M} [\cos(\omega t + \alpha_1) + \cos(\omega t + \alpha_2)]^2 \right] dt.$$

$$\text{Враховуючи, що: } \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} (\cos(\omega t + \alpha_1) \cos(\omega t + \alpha_2)) dt = \cos(\alpha_1 - \alpha_2);$$

$$\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \cos^2(\omega t) dt = \frac{1}{2} \text{ отримуємо:}$$

$$\Lambda(\dot{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{x}) dt = -\frac{\omega^4 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{M} [\cos(\alpha_1 - \alpha_2)] + C,$$

де  $C = -\frac{\omega^4 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{2M}$  – деяка стала, що не залежить від координати  $x$  і яка не суттєва для подальшого дослідження.

Узагальнюючи вищенаведені енергетичні залежності, можна ввести потенціальну функцію:

$$D = \Lambda(\dot{x}) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \min_{\dot{\varphi} \in \Gamma} L(\dot{x}) dt = -\frac{\omega^4 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{M} [\cos(\alpha_1 - \alpha_2)]. \quad (18)$$

За оптимальною ознакою стійкості, запропонованій Т. Г. Стрижаком [6; 10], для систем із динамічним збудженням якщо в деякій точці  $\dot{x}_1 = \dot{x}_1^0, \dots, \dot{x}_n = \dot{x}_n^0$  функція  $D = \Lambda(\dot{x})$  має грубий мінімум, тоді цій точці при достатньо малих значеннях  $\dot{x}_i$  відповідає стійка квазірівновага системи. Тоді із рівняння (18):

$$\left. \frac{\partial D}{\partial \alpha} \right|_{\alpha=\alpha^*} = \frac{\partial \left( -\frac{\omega^4 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{M} [\cos(\alpha_1 - \alpha_2)] \right)}{\partial \alpha} \Bigg|_{\alpha=\alpha^*} =$$

$$= -\frac{\omega^4 \omega_0^2}{(\omega^2 - \omega_0^2)^2} \frac{(m\varepsilon)^2}{M} [\sin(\alpha_1 - \alpha_2)] = 0. \quad (19)$$

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Розв'язок рівняння (19) допускає два суттєво різні розв'язки:

$$\alpha_1 - \alpha_2 = \pi, \quad \alpha_1 - \alpha_2 = 0. \quad (20)$$

Обертання роторів, яке відповідає першому розв'язку, назвемо синфазним, а другому – протифазним. Для першого розв'язку потенційна функція  $D = \Lambda(\dot{x})$  згідно з виразом (18), має мінімум при  $\omega < \omega_0$ , при  $\omega > \omega_0$  мінімум цієї функції відповідає другому розв'язку. Таким чином, із інтегрального критерію стійкості випливає, що до резонансного режиму відбувається стійке синфазне обертання роторів, а після резонансного режиму – протифазне.

**Висновки відповідно до статті.**

1. Для коливальної системи у вигляді фізичного маятника з віброуючою віссю, за допомогою інтегральної ознаки стійкості Пуанкаре-Ляпунова, математично описано фізичне явище «відведення», що характеризується зміщенням елементів коливальної системи від аналогічних положень рівноваги без накладання зовнішніх вібрацій.

2. За допомогою інтегральної ознаки стійкості Пуанкаре-Ляпунова досліджено ефект самосинхронізації для коливальної системи, що представлена у вигляді незрівноважених роторів на віброуючій основі.

**Список використаних джерел**

1. Іскович–Лотоцький Р. Д. Вібраційні та віброударні пристрої для розвантаження транспортних засобів : монографія / Р. Д. Іскович–Лотоцький, Я. В. Іванчук. – Вінниця : Вінниця, 2012. – 155 с.
2. Іскович–Лотоцький Р. Д. Технологія моделювання оцінки параметрів формоутворення заготовок з порошкових матеріалів на вібропресовому обладнанні з гідроімпульсним приводом: монографія / Р. Д. Іскович–Лотоцький, О. В. Зелінська, Я. В. Іванчук. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 152 с.
3. Hou Y. J. Synchronization and stability of an elastically coupled tri-rotor vibration system / Hou Y. J., Du M. J., Fang P., Zhang L. P. // Journal of theoretical and applied mechanics. – 2017. – № 55 (1). – P. 227–240. DOI: 10.15632/jtam-pl.55.1.227.
4. Артюнин А. И. Возможности обобщения задач динамических взаимодействий в неуровновешенных вращениях твердых тел / А. И. Артюнин, С. В. Елисеєв // Решетневские чтения. Механика специальных систем. – Красноярск, 2014. – С. 269–271.
5. Саруев Л. А. Разработка и исследование гидромеханической системы формирования силовых импульсов в ставе штанг для интенсификации вращательного бурения / Л. А. Саруев, А. А. Казанцев // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 313, № 1. – Спец. выпуск. – С. 75–78.
6. Блехман И. И. Вибрационная механика / И. И. Блехман. – М. : Физматлит, 1994. – 400 с.
7. Установка для виброударного обезвоживания отходов пищевых производств в пресс-форме / И. В. Севостьянов, А. В. Слабкий, А. В. Полищук, А. И. Ольшевский // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – Т. 4, № 4 (24). – С. 41–46. DOI: 10.15587/2312-8372.2015.47694.
8. Советов В. Я. Моделирование систем / В. Я. Советов, С. А. Яковлев. – М. : Высшая школа, 1985. – 271 с.
9. Deli, W., Wei, X., Xudong, G., Haiqing, P. (2016). Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *International Journal of Non-Linear Mechanics*. 86. 55–65. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2016.08.001.
10. Jörg, C., Mont, K., Pornsak, S. (2010). Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *Chemical Engineering Research and Design*. 88(1). 100–108. DOI: 10.1016/j.cherd.2009.07.001.
11. Soleymani, M., Fooladi, M., Rezaeizadeh M. (2016). Effect of slurry pool formation on the load orientation, power draw, and impact force in tumbling mills. *Powder Technology*. 287. 160–168. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.10.009.
12. Fekri, A., Buerhan, S., Muslim, H., Hafiz, M. (2017). Does intense monitoring matter? A quantile regression approach. *Borsa Istanbul Review*. 17(2). 75–85. DOI: 10.1016/j.bir.2017.02.004.

**References**

1. Iskovych–Lototskyi, R. D., Ivanchuk, Ya. V. (2012). *Vibratsiyini ta vibroudarni prystroi dlia rozvantazhennia transportnykh zasobiv [Vibrating and vibro-impact devices for unloading vehicles]*. Vinnytsia [in Ukrainian].

2. Iskovych–Lototskyi, R.D., Zelinska O.V., Ivanchuk, Ya.V. (2018). *Tekhnolohiia modeliuvannia otsinky parametriv formoutvorennia zahotovok z poroshkovykh materialiv na vibropresovomu obladdnanni z hidroimpulsnym pryvodom [Technology for modeling the evaluation of the parameters of the shaping of blanks from powder materials on vibration press equipment with a hydroimpulse drive]*. Vinnytsia [in Ukrainian].
3. Hou, YJ., Du, MJ., Fang, P., Zhang, LP. (2017). Synchronization and stability of an elastically coupled tri-rotor vibration system. *Journal of theoretical and applied mechanics*, 55 (1), 227-240. DOI: 10.15632/jtam-pl.55.1.227.
4. Artjunin, A. I., Eliseev, S. V. (2014). Vozmozhnosti obobshheniya zadach dinamicheskikh vzaimodeystviy v neuravnovesennykh vrashcheniyah tverdykh tel [Possibilities of generalizing the problems of dynamic interactions in the unbalanced rotations of solids]. *Reshetnevskie chteniia. Mekhanika spetsialnykh sistem – Reshetnev's readings. Mechanics of special systems*. Krasnoarsk, 269–271 [in Russian].
5. Saruev, L. A., Kazantsev A. A. (2008). Razrabotka y yssledovanye hydromekhanicheskoi systemi formyrovaniya sylovikh ympulsov v stave shtanh dlia intensivatsii vrashchatelnogo bureniia [Development and investigation of a hydromechanical system for the formation of force pulses in the rod stack for the intensification of rotary drilling]. *Izvestiia Tomskoho politekhnicheskoho universyteta – Proceedings of Tomsk Polytechnic University*, 313 (1), Spets issue, 75–78 [in Russian].
6. Blehman, I. I. (1994). *Vibratsionnaia mekhanika [Vibration mechanics]*. Moscow: Fizmatlit [in Russian].
7. Sevostianov, I. V., Slabkyi, A. V., Polyshchuk, A. V., Olshevskiy, A. I. (2015). Ustanovka dlia vybroudarnoho obezvozhvaniia otkhodov pyshchevikh proyvodstv v press–forme [Installation for vibro-impact dewatering of food waste in a mold]. *Tekhnolohycheskii audyt i rezervi proyvodstva – Technological audit and production reserves*, 4.4(24), 41–46. DOI: 10.15587/2312–8372.2015.47694.
8. Sovetov, V. Ya., Yakovlev, S. A. (1985). *Modelirovanie sistem [Modeling systems]*. Moscow: Vyshcha shkola [in Russian].
9. Deli, W., Wei, X., Xudong, G., Haiqing, P. (2016). Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, 86, 55–65. DOI: 10.1016/j.ijnonlinmec.2016.08.001.
10. Jörg, C., Mont, K., Pornsak, S. (2010). Response analysis of nonlinear vibro-impact system coupled with viscoelastic force under colored noise excitations. *Chemical Engineering Research and Design*. 88(1). 100–108. DOI: 10.1016/j.cherd.2009.07.001.
11. Soleymani, M., Fooladi, M., Rezaeizadeh M. (2016). Effect of slurry pool formation on the load orientation, power draw, and impact force in tumbling mills. *Powder Technology*. 287. 160–168. DOI: 10.1016/j.powtec.2015.10.009.
12. Fekri, A., Buerhan, S., Muslim, H., Hafiz, M. (2017). Does intense monitoring matter? A quantile regression approach. *Borsa Istanbul Review*, 17(2), 75-85. DOI: 10.1016/j.bir.2017.02.004.

UDC 62-97/-98

Yaroslav Ivanchuk

## MATHEMATICAL METHOD FOR DETERMINING STABILITY OSCILLATORY SYSTEMS UNDER THE INFLUENCE OF EXTERNAL VIBRATIONS

**Urgency of the research.** The use of vibration technology requires in-depth study of the physical phenomena that occur in a variety of oscillatory systems. In order to determine the optimal parameters of vibrating equipment has increase the efficiency of processes.

**Target setting.** The action of vibration in nonlinear mechanical systems leads to the appearance of physical phenomena that have both useful and negative properties. The necessity of explanation and mathematical description of a number of unique physical phenomena associated with the action of vibrations on mechanical systems makes it possible to develop promising mathematical methods for calculating complex oscillatory systems.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In most of the works, on the basis of the developed separate mathematical models, the influence of vibrations on mechanical systems was considered. These models made it possible to theoretical study the synchronization process and the stability region of vibrational systems.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In scientific works there is no single universal mathematical method that allows to theoretically study oscillatory systems on the condition of stability and equilibrium.

**The research objective.** The aim of the article is to develop a universal mathematical method for determining the stability conditions and equilibrium positions of vibrational systems under the action of external vibration.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**The statement of basic materials.** For an integral condition of the Poincare-Lyapunov, on the basis of differential equations of motion and known optimality criteria quasiconservative systems position quasistability oscillatory systems have been identified.

**Conclusions.** For oscillating system as a physical pendulum on the axis of the vibrating mathematically described physical phenomenon "retraction". This phenomenon is characterized by a shift element of the oscillating system similar equilibrium positions without imposing external vibrations. We investigated the effect of self-synchronization to the oscillating system, which is represented in the form of unbalanced rotors at a vibrating manner.

**Keywords:** vibration; oscillating system; sustainability; extremum; equilibrium; optimality; synchronization.

Fig.: 2. References: 12.

УДК 62-97/-98

Ярослав Иванчук

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВНЕШНИХ ВИБРАЦИЙ

**Актуальность темы исследования.** Применение вибрационной технологии требует углубленного изучения физических явлений, которые возникают в различных колебательных системах, с целью определения оптимальных параметров вибрационного оборудования для повышения эффективности технологических процессов.

**Постановка проблемы.** Действие вибрации в нелинейных механических системах приводит к появлению физических явлений, которые могут иметь как полезный, так и опасный характер. Необходимость объяснения и математического описания ряда своеобразных физических явлений, связанных с действием вибраций на механические системы, позволяет разрабатывать перспективные математические методы расчета сложных колебательных систем.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В большинстве работ на базе разработанных отдельных математических моделей было рассмотрено влияние вибраций на механические системы, которые позволили теоретически исследовать процесс синхронизации и области устойчивости колебательных систем.

**Выделение неисследованных ранее частей общей проблемы.** В научных трудах отсутствует единый универсальный математический метод, который позволяет теоретически исследовать колебательные системы на условие устойчивости и равновесия.

**Постановка задачи.** Целью статьи является разработка универсального математического метода для определения условия устойчивости и положений равновесия колебательных систем под действием внешних вибраций.

**Изложение основного материала.** За интегральным условием Пуанкаре-Ляпунова, на базе дифференциальных уравнений движения и известных критериев оптимальности квазиконсервативных систем были определены положения квазиустойчивости колебательных систем.

**Выводы соответствия со статьей.** Для колебательной системы в виде физического маятника с вибрирующей осью, математически описано физическое явление «увода», характеризующийся смещением элементов колебательной системы от аналогичных положений равновесия без наложения внешних вибраций. Исследован эффект самосинхронизации для колебательной системы, которая представлена в виде неуровновешенных роторов на вибрирующем основании.

**Ключевые слова:** вибрации; колебательная система; устойчивость; экстремум; равновесие; оптимальность; синхронизация.

Рис.: 2. Библ.: 12.

**Иванчук Ярослав Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри галузевого машинобудування, Вінницький національний технічний університет (вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна).

**Иванчук Ярослав Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры отраслевого машиностроения, Винницкий национальный технический университет (ул. Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина).

**Ivanchuk Yaroslav** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Industrial Engineering Department, Vinnytsia National Technical University (95 Khmelnytske shose, 21021 Vinnytsia, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-4775-6505>

**Scopus Author ID:** 57170734800

УДК 629.735.45Ми-8.004.2(022)

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-34-48

Олег Шаповалов, Денис Колесник, Олег Пилипенко

**КОНСТРУКЦІЇ, КІНЕМАТИЧНІ СХЕМИ ТА ТЕХНІЧНІ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТОЛЬОТНИХ РЕДУКТОРІВ**

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний стан найбільш застосовуваних вертольотів Ми-8 різних модифікацій пасажирського, транспортного та військового призначення характеризується тим, що в них є агрегати з обмеженим ресурсом, відмови яких безпосередньо впливають на безпеку польотів. Оскільки найближчим часом заміни цьому типу вертольотів не очікується, необхідно забезпечити підтримку стану льотної придатності наявного парку вертольотів цього типу.

**Постановка проблеми.** Для обґрунтованого збільшення ресурсів головного, проміжного і хвостового редукторів необхідно мати об'єктивні дані по параметрах елементів трансмісії вертольоту типу Ми-8.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Про ефективність встановлення і збільшення ресурсів агрегатів трансмісії вертольотів свідчать: оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій у двох томах під редакцією академіка В. Т. Троценко Інституту проблем міцності НАН України, розроблене відповідне положення РФ (2004) та захист дисертації на подібну тему (2014) стосовно вертольотів Ми-2.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розгляд конструкцій, кінематичних схем та основних технічних характеристик головних редукторів ВР-8, ВР-8А, ВР-14, проміжного ПР-8 та хвостового ХР-8 редукторів.

**Мета статті.** Розглянути наявні початкові дані стосовно таких агрегатів трансмісії вертольотів Ми-8, як головний, проміжний і хвостовий редуктори та їх зубчасті передачі.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуті конструкції, кінематичні схеми редукторів ВР-8, ВР-8А, ВР-14, ПР-8, ХР-8 та їх зубчасті передачі, а також відповідні основні технічні характеристики.

**Висновки відповідно до статті.** Розглянуті конструкції, кінематичні схеми та основні технічні характеристики головних, проміжного та хвостового редукторів для подальшого їх застосування з метою забезпечення підтримки стану льотної придатності наявного парку вертольотів типу Ми-8.

**Ключові слова:** конструкції головних, проміжного та хвостового редукторів вертольота Ми-8; кінематичні схеми; технічні характеристики.

Рис.: 12. Табл.: 2. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Сучасний стан найбільш застосовуваних вертольотів Ми-8 різних модифікацій пасажирського, транспортного та військового призначення характеризується тим, що в них є агрегати з обмеженим ресурсом, відмови яких безпосередньо впливають на безпеку польотів.

До таких агрегатів, поза іншими, відносяться такі найбільш навантажені агрегати трансмісії вертольота (АТВ), як головний, проміжний та хвостовий редуктори. Редуктору вертольота встановлюється час гарантованої роботи – ресурс – на основі великого обсягу конструкторських, технологічних і доводочних робіт з усунення дефектів, а також великої кількості різномірних випробувань [1].

Оскільки найближчим часом заміни цьому типу вертольотів не очікується, необхідно забезпечити підтримку стану льотної придатності наявного парку вертольотів цього типу. Крім того, виробництво агрегатів для цього типу вертольотів стає все менш доцільним або здійснюється за межами країни, і тоді їхня вартість досягає нерентабельного рівня.

Таким чином, єдиним виходом із ситуації, яка склалася, є поетапне встановлення і збільшення ресурсів вказаних агрегатів [2; 3; 4]. А для цього необхідні певні дослідження й обсяги випробувань з метою наукового підтвердження можливості встановлення нових і збільшення раніше встановлених ресурсів.

**Постановка проблеми.** Для обґрунтованого збільшення ресурсів головного, проміжного і хвостового редукторів необхідно мати об'єктивні дані по параметрах та навантаженнях елементів трансмісії на основних режимах польоту, результати стендових випробувань, розрахунки на міцність і т. ін. Наявний обсяг таких даних дуже обмежений, тому виникає необхідність проведення досліджень і спеціальних випробувань для визначення ресурсоздатності АТВ.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Про ефективність встановлення та збільшення ресурсів агрегатів трансмісії вертольотів свідчать: оцінка й обґрунтування продовження ресурсу елементів конструкцій у двох томах під редакцією академіка

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

В. Т. Троценка Інституту проблем міцності НАН України [3], розроблене відповідне положення РФ (2004) [2] та захист дисертації на подібну тему (2014) стосовно вертольотів Ми-2 [4].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розгляд конструкцій, кінематичних схем та основних технічних характеристик головних редукторів ВР-8, ВР-8А, ВР-14, проміжного ПР-8 та хвостового ХР-8 редукторів.

**Мета статті** – розглянути наявні початкові дані стосовно таких АТВ Ми-8, як головний, проміжний і хвостовий редуктори та їх зубчасті передачі. Цією статтею починається цикл робіт, скерованих на виявлення статичних і динамічних навантажень деталей редукторів, їхніх дефектів та руйнувань, можливостей встановлення та збільшення ресурсів агрегатом трансмісії вертольотів Ми-8 різних модифікацій.

**Виклад основного матеріалу. Конструкції, кінематичні схеми та технічні характеристики редукторів.** Одногвинтові вертольоти типу найбільш широко застосовуваних Ми-8 різних модифікацій оснащені головним, проміжним та хвостовим редукторами, призначенням яких є збільшення крутного моменту за рахунок зниження частоти обертання відповідних валів (рис. 1).

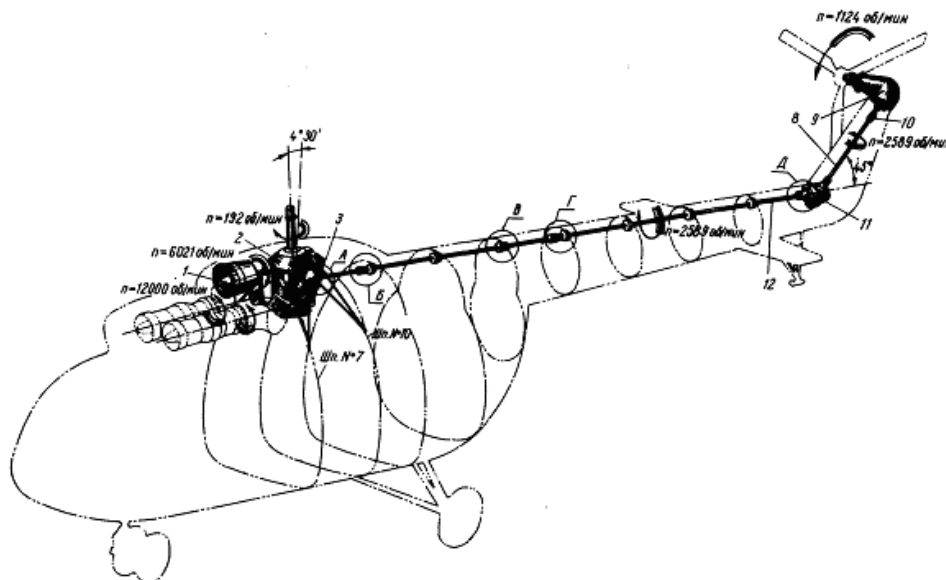


Рис. 1. Трансмісія вертольота Ми-8:

- 1 – вентиляторна установка; 2 – головний редуктор; 3 – гальмо несучого гвинта;  
8 – кінцева частина хвостового вала; 9 – хвостовий редуктор; 10 – рухоме шліцеве з'єднання;  
11 – проміжний редуктор; 12 – горизонтальна частина хвостового вала

До агрегатів трансмісії вертольота відносяться [1]: головний редуктор; редуктори, що передають потужність від двигунів до головного редуктора і не входять до складу двигунів; редуктори, що передають потужність до рульового гвинта (інших пристроїв, що зрівноважують реактивний момент і забезпечують керування вертольотом); коробки приводів, що не входять до складу двигунів і редукторів; вали, що з'єднують агрегати трансмісії з двигуном (ами) і між собою, з опорами й муфтами; гальмо несучого гвинта; вентилятори системи охолодження АТВ.

Головний редуктор призначений для підсумовування потужності двох газотурбінних двигунів, передаючи її на вали несучого та рульового гвинтів через трансмісійні вали і забезпечуючи приводи допоміжних агрегатів. Головний редуктор складається з вхідного і центрального редукторів, лівої і правої коробок приводів, передніх і задніх конічних редукторів, муфт вільного ходу, маслоагрегата, блока фільтрів, підкосів і шпильок кріплення.

Центральний редуктор являє собою шестеренний агрегат, що здійснює два ступеня редукції і забезпечує привод вала несучого гвинта.

До № 0832 як головний редуктор на вертольотах Ми-8 встановлювався редуктор ВР-8 (рис. 2) [1].

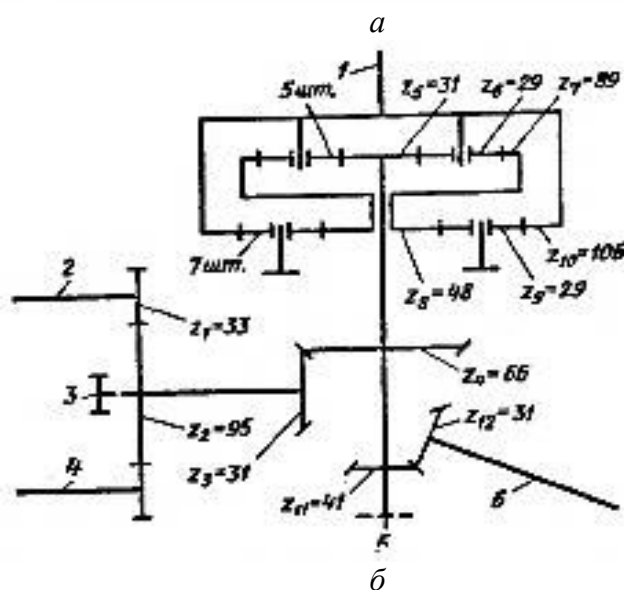
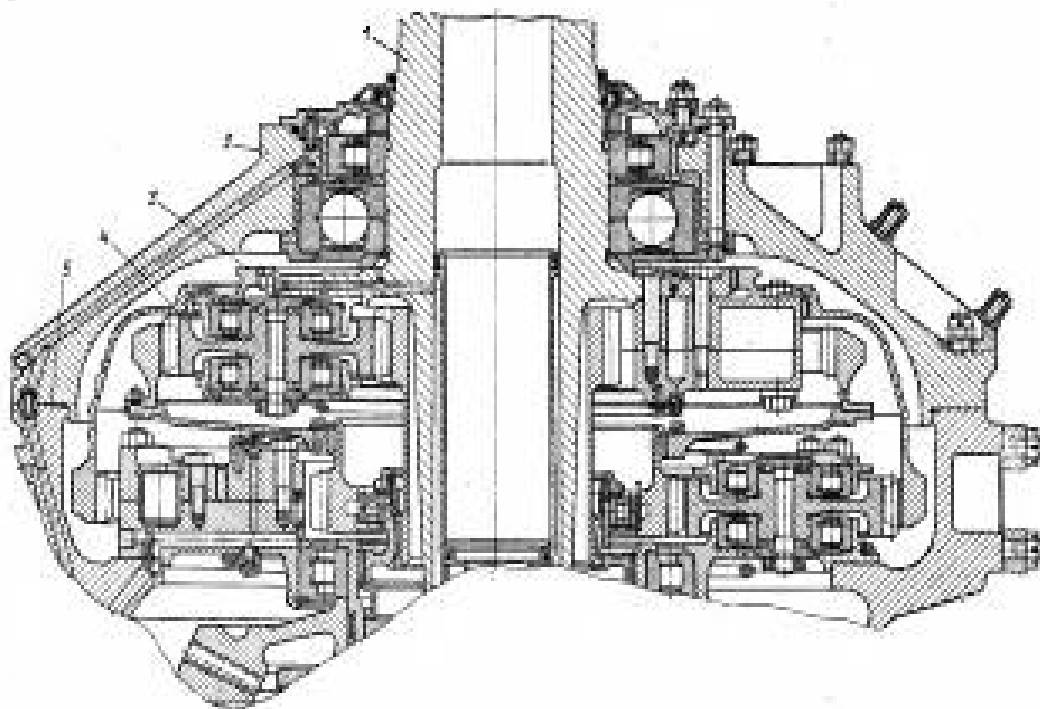


Рис. 2. Конструкція (а) та кінематична схема (б) головного редуктора ВР-8:

а: 1 – вал несучого гвинта; 2 – верхній корпус редуктора;

3 – корпус сателітів (води́ло); 4 – сателіти; 5 – корпус редуктора;

б: 1 – вал несучого гвинта; 2 – вхід лівого двигуна; 3 – до привода вентилятора; 4 – вхід правого двигуна;

5 – до привода агрегатів; 6 – привод хвостового гвинта

Починаючи з № 0832, на вертольотах Ми-8 почали встановлювати головні редуктори ВР-8А (рис. 3-7) [5].

**Головний редуктор ВР-8А.** Головний редуктор призначений для передачі крутного моменту від двигунів до несучого гвинта вертольота, а також для привода агрегатів, встановлених на редукторі.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Зниження частоти обертання в головному редукторі досягається застосуванням трьох ступенів редукції. Перша ступінь являє собою два ведучих циліндричних косозубих колеса, які приводяться в обертання від двигунів і знаходяться в зачепленні з третім, загальним для них веденим зубчастим колесом. Друга ступінь редукції складається з двох конічних зубчастих коліс зі спіральними зубцями.

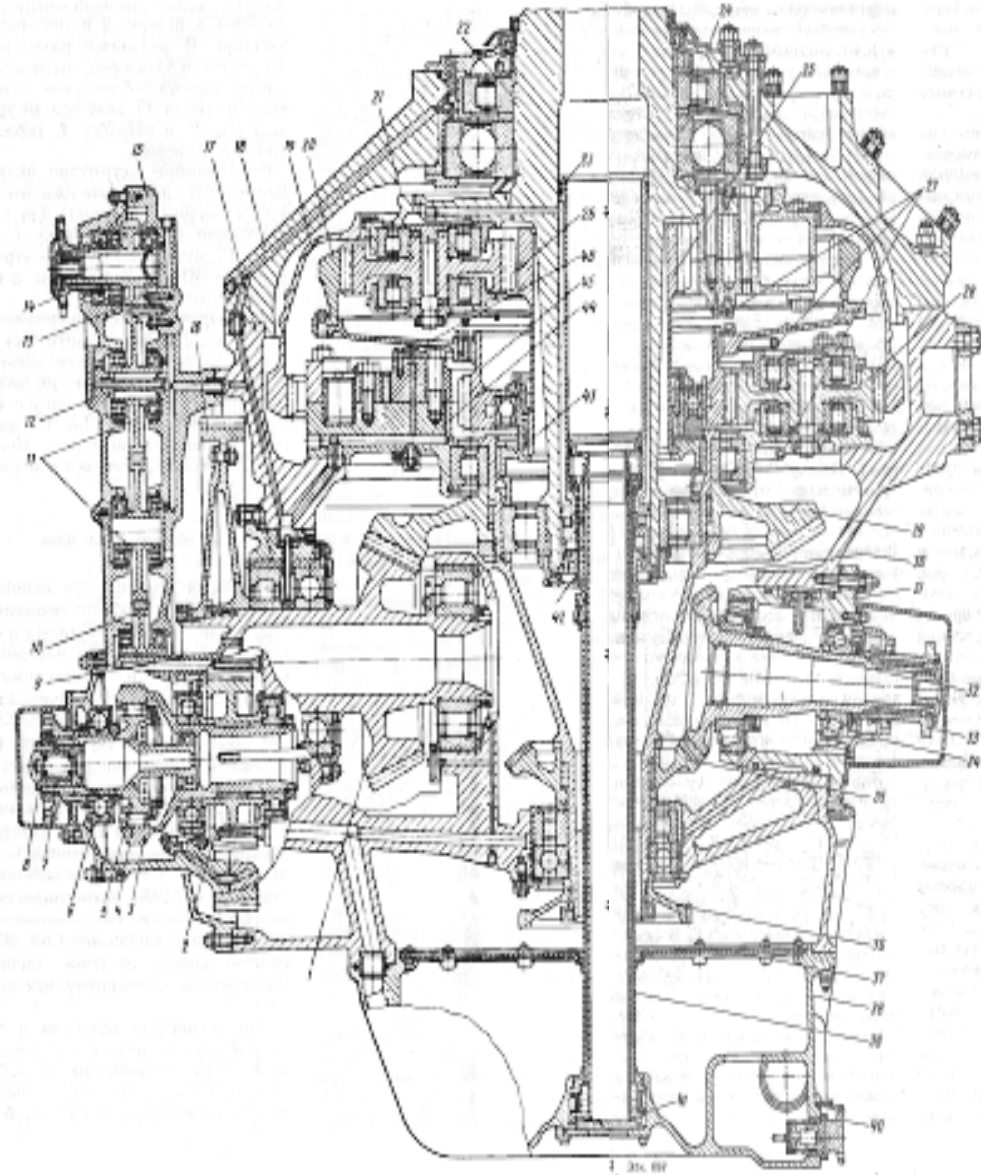


Рис. 3. Поздовжній розріз головного редуктора ВР-8А:

- 1, 2 – ведучі зубчасті колеса другої та першої ступені; 3, 5 – ведений і ведучий вали муфти вільного ходу; 4 – сепаратор з роликами; 6 – корпус підшипника; 7 – шлицева втулка; 8 – сферична п'ята; 9 – ресора привода вентилятора; 10, 13 – ведуче і ведене зубчасті колеса привода вентилятора; 11 – проміжні колеса привода вентилятора; 12 – кришка привода вентилятора; 14 – шлицевий фланець привода; 15 – передня кришка корпусу; 16, 29 – ведені зубчасті колеса другої та першої ступені; 17 – корпус редуктора; 18 – корпус вала несучого гвинта; 19 – дзвоноподібне зубчасте колесо; 20, 45 – верхній і нижній вінці подвійного зубчастого колеса; 21 – корпус сателітів; 22 – вал несучого гвинта; 23 – маслоперепускна труба; 24 – кришка; 25 – ведуче зубчасте колесо диференціала; 26 – сателіт; 27 – колектори маслосистеми; 28 – проміжні зубчасті колеса; 30 – вертикальний вал; 31 – корпус привода рульового гвинта; 32 – ведене зубчасте колесо привода рульового гвинта; 33 – шлицевий фланець привода; 34 – корпус лабіринтного ущільнення; 35 – ведуче зубчасте колесо привода рульового гвинта; 36 – ведуче зубчасте колесо приводів агрегатів; 37 – сітчастий фільтр; 38 – піддон редуктора; 39 – маслотрубопровід; 40 – магнітна пробка; 41, 42 – нижня і верхня маслоперепускні втулки; 43 – шлицева втулка; 44 – корпус проміжних зубчастих коліс; 46 – опора подвійного зубчастого колеса

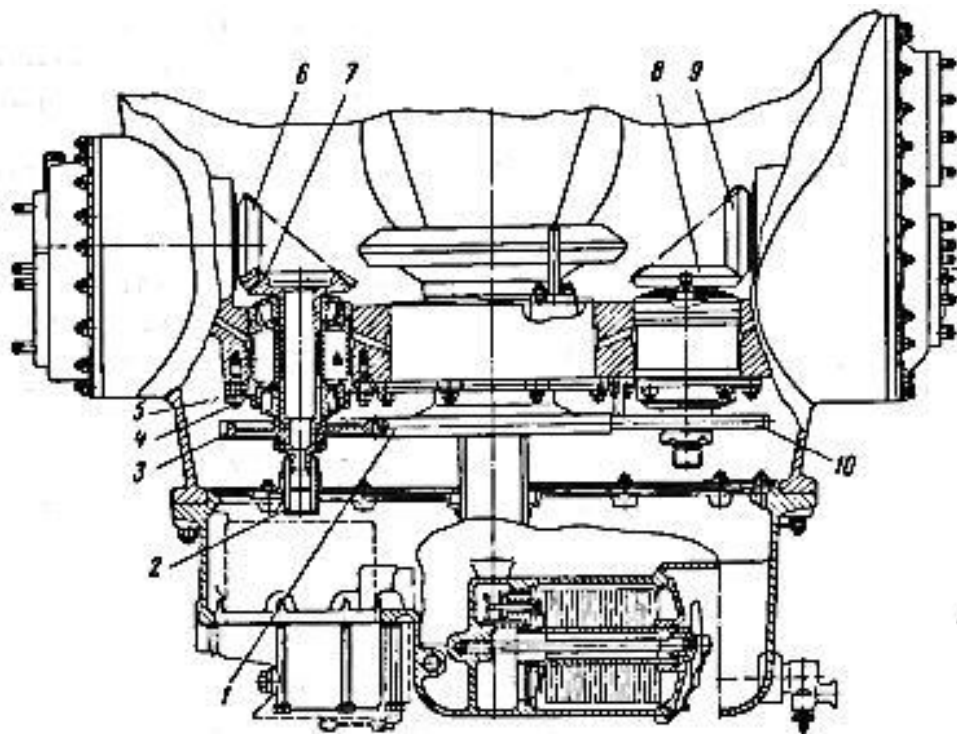


Рис. 4. Поперечний розріз нижньої частини головного редуктора ВР-8:  
1 – ведуче зубчасте колесо приводів агрегатів; 2 – шліцева втулка; 3, 10 – циліндричні зубчасті колеса;  
4 – регулювальне кільце; 5 – стакан із фланцем; 6, 7, 8, 9 – пари конічних зубчастих коліс

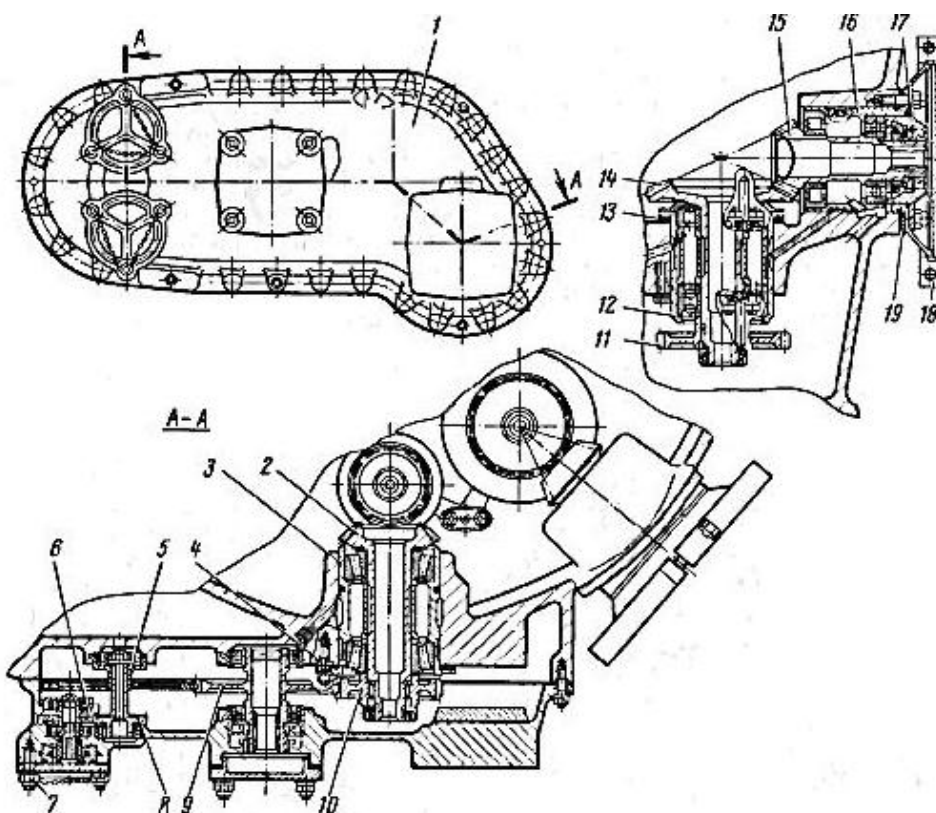


Рис. 5. Приводи агрегатів лівої кришки редуктора ВР-8А:  
1 – кришка привода; 2, 5, 6, 8, 9, 10 – зубчасті колеса приводів; 3, 12, 16 – стакани;  
4, 13, 19 – регулювальні кільця; 7 – шпилька; 11, 14, 15 – зубчасті колеса привода генератора;  
17 – корпус лабіринтного ущільнення; 18 – хомут кріплення генератора

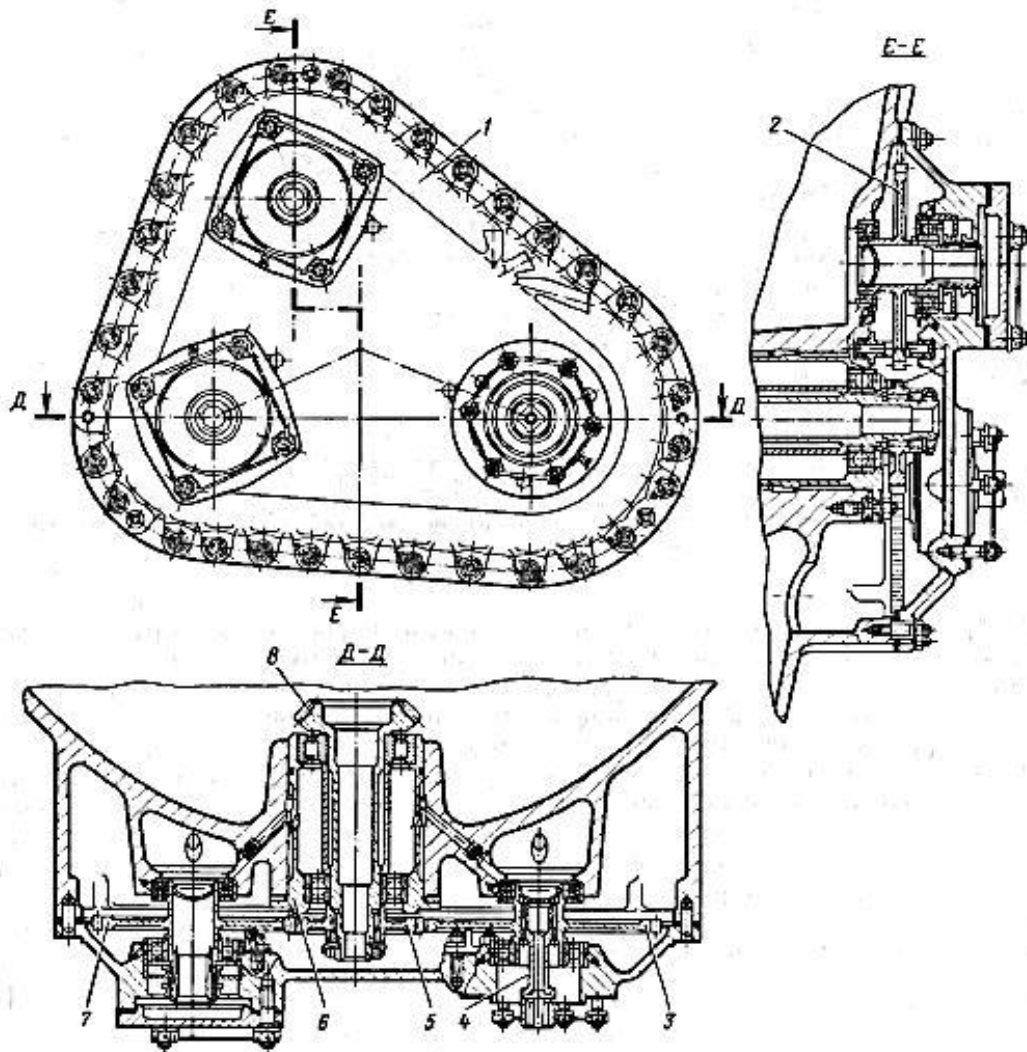


Рис. 6. Приводи агрегатів правої кришки редуктора ВР-8А:

1 – кришка приводів; 2 – зубчасте колесо запасного привода; 3 – зубчасте колесо привода компресора АК-50Т3; 4 – ресора; 5 – ведуче циліндричне колесо правої кришки приводів; 6 – стакан; 7 – зубчасте колесо привода гідронасоса НШ-39М основної гідросистеми; 8 – зубчасте колесо

Третя ступінь редукції виконана за схемою замкнутого диференціального механізму, що складається з диференціала і його замикаючого ланцюга.

Від головного редуктора забезпечується привод ряду агрегатів, робота яких можлива й у випадку відмови силової установки. Кінематична схема редуктора представлена на рис. 7 [6].

#### Основні технічні характеристики

Частота обертання вхідних валів,  $\text{хв}^{-1}$  12000

Частота обертання вала несучого гвинта (при показанні лічильника 95,3%),  $\text{хв}^{-1}$   $192 \pm 2$

Передаточне відношення:

до привода несучого гвинта 0,016

рульового гвинта 0,2158

вентилятора 0,5018

насосів НШ-39-1М0,2026

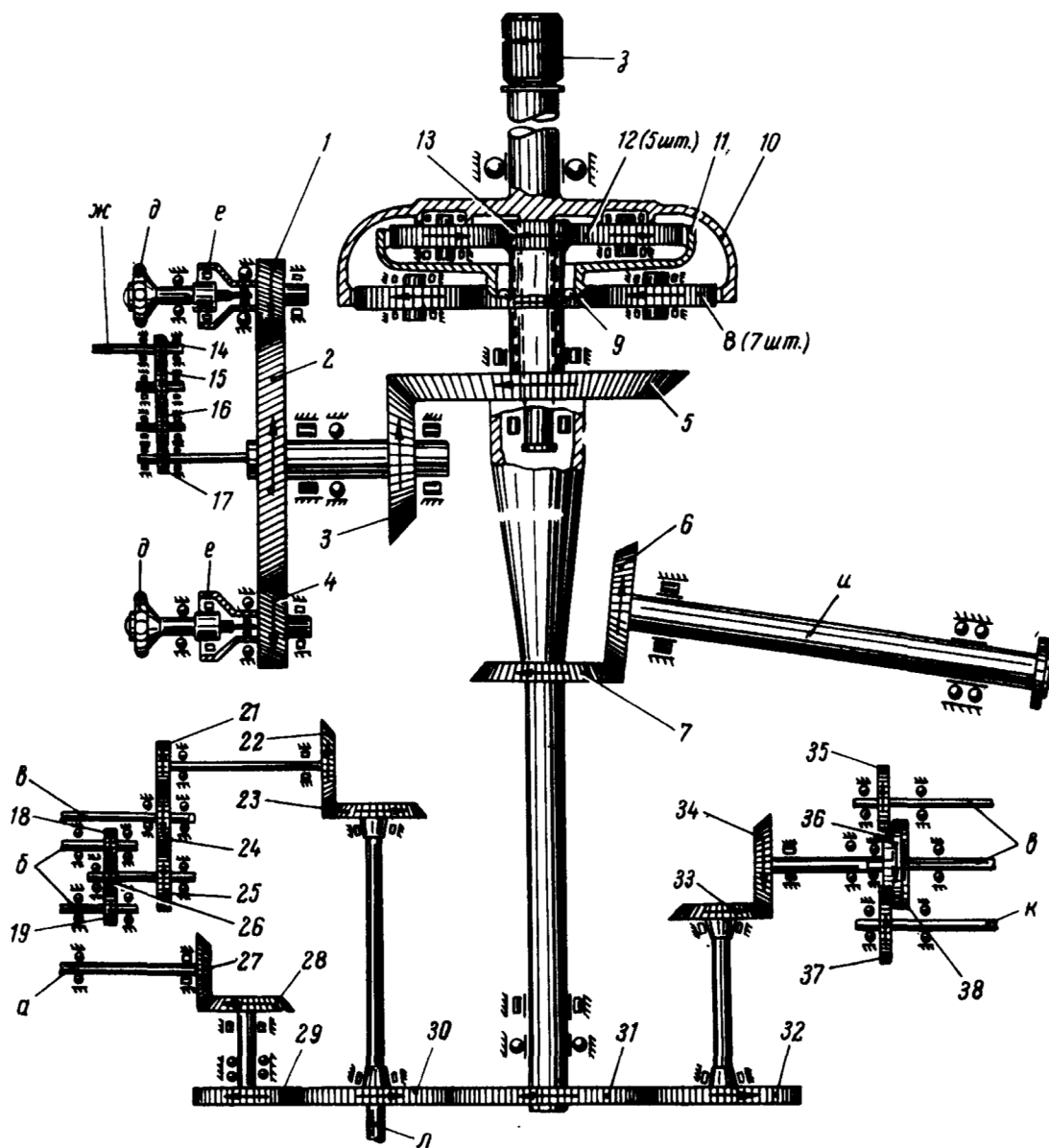
генератора СГО-30УРС0,6679

датчиків Д-1 лічильника частоти обертання 0,1984

компресора АК-50Т10,1671

масяного агрегату 0,24633

Редуктор (рис. 3-7) складається з таких вузлів: картера, двох муфт вільного ходу, привода вала несучого гвинта, вала несучого гвинта, привода рульового гвинта і приводів агрегатів. Детальний опис взаємодії деталей конструкції редуктора ВР-8А міститься в [5].



№ шестерні	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Число зубців	33	95	31	33	66	31	41	29	48	103	69	29	31	27	45	45	39
№ шестерні	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Число зубців	27	27	25	32	24	29	47	48	27	19	41	39	49	74	49	29	24
№ шестерні	35	36	37	38													
Число зубців	47	32	57	47													

Рис. 7. Кінематична схема головного редуктора ВР-8А:

*а* – привод до генератора; *б* – привод до тахометра; *в* – привод до шестеренного насосу НШ-39-М; *д* – увід вала двигуна; *е* – муфта вільного ходу; *ж* – привод до вентилятора; *з* – привод до несучого гвинта; *и* – привод до хвостового вала трансмісії; *к* – привод до повітряного компресора АК-50Т1; *л* – привод до маслонасоса

На модифіковані транспортні вертольоти Ми-8МТ, Ми-8МТВ тощо встановлюються редуктори ВР-14, які були спроектовані спочатку з метою їх застосування на вертольоті Ми-14 для більш впевненого відриву від водної поверхні (рис. 8, 9) [7].



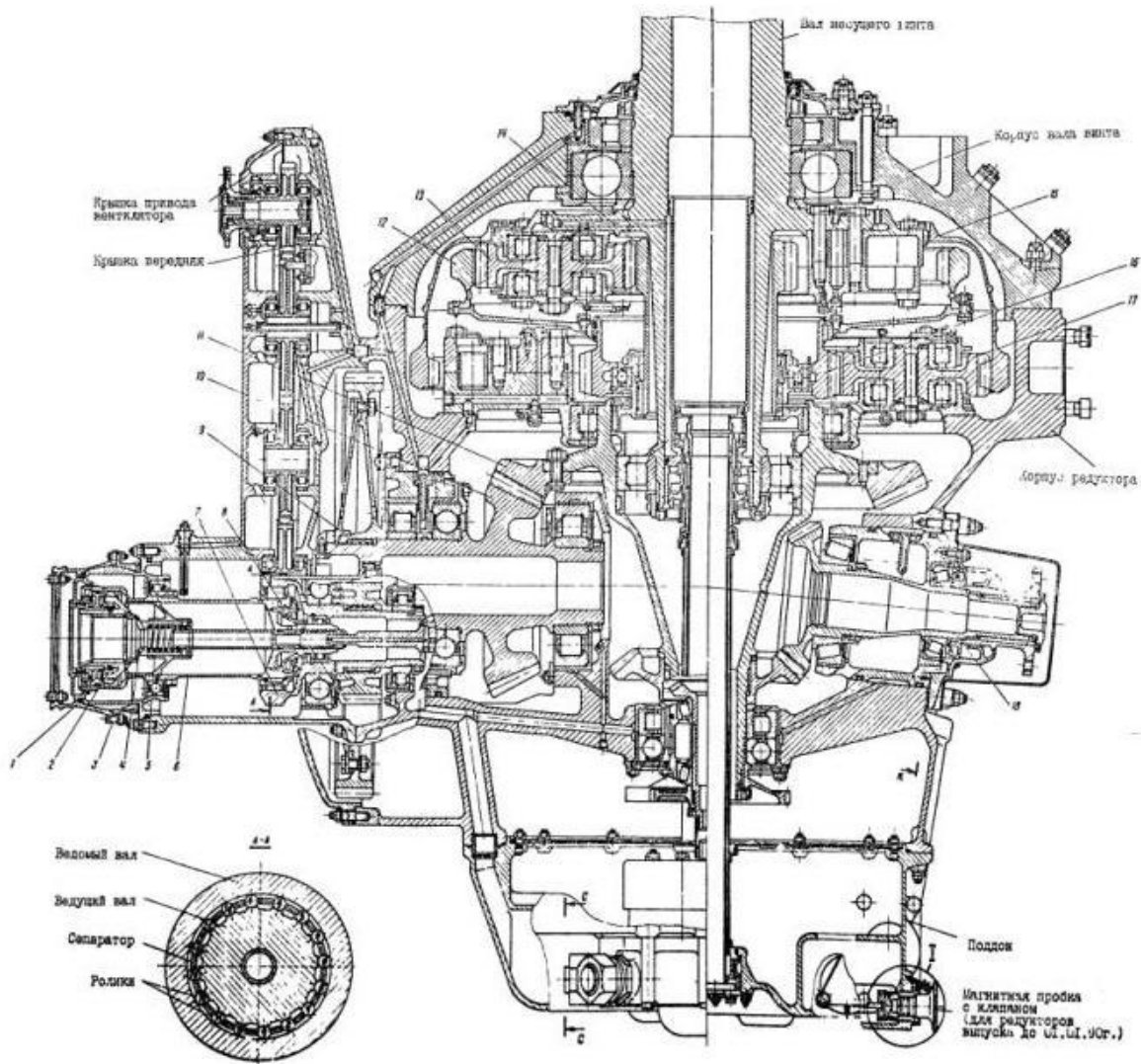


Рис. 8. Поздовжній розріз головного редуктора ВР-14:

1 – корпус сфери; 2 – муфта шліцева; 3 – кришка сфери; 4 – п'ята; 5 – пружина; 6 – вал муфти ведучий; 7 – вал муфти ведений; 8 – шестерня косозуба ведуча; 9 – шестерня косозуба ведена; 10 – шестерня конічна ведуча; 11 – шестерня конічна ведена; 12 – вінець зубчастий верхній; 13 – шестерня-сателіт; 14 – шестерня центральна верхня; 15 – вінець зубчастий нижній; 16 – шестерня центральна нижня; 17 – шестерня проміжна; 18 – шестерня привода хвостового вала трансмісії

**Головний редуктор ВР-14.** Призначення редуктора ВР-14 — передача крутного моменту від двигунів до вузлів споживання на вертольоті.

Редуктор підсумовує потужність обох двигунів і передає її на вал несучого гвинта відповідно до заданого режиму роботи двигунів і забезпечує привод вертольотних агрегатів.

Редуктор є окремим агрегатом, що складається зі скріплених між собою корпусів (корпуси вала гвинта, корпуси редуктора, піддону і передньої кришки), усередині яких розміщені основний механізм редуктора з планетарною ступінню, приводи агрегатів і масляна система редуктора.

Редуктор разом з двигунами встановлюється в мотогондолі вертольота і кріпиться до підредукторних опор вертольота за допомогою п'яти фланців, розташованих на силовому поясі корпусу редуктора.

Крутний момент від двигунів через приводну ресору двигуна, через сферичні шліци муфти 2 (рис. 8) передається на два входні вали редуктора, розташовані у приливах передньої кришки редуктора, у площині, перпендикулярній осі вала несучого гвинта.

До передньої кришки редуктора на шпильках кріпиться сферична цапфа з корпусом сфери 1 і кришкою сфери 3. Сферична опора, що виконує роль задньої опори двигуна, і сферичні шліци допускають невеликий «злам» осі двигун - редуктор, що необхідно для спільної роботи зчленованих двигуна і редуктора.

Для усунення поздовжніх коливань приводної ресори введена пружина 5, яка віджимає ресору в бік двигуна через п'яту 4.

Вхідний вал редуктора складається з ведучого вала муфти вільного ходу 6 і веденого вала муфти 7. Хвостовик ведучого вала, ролики, сепаратор і обід веденого вала утворюють муфту вільного ходу. На кожному веденому валу встановлено по ведучій циліндричній косозубій шестерні 8, які передають крутний момент на одну ведену шестерню 9.

Передача обертання до вала несучого гвинта, приводу хвостового гвинта і приводів агрегатів забезпечується системою циліндричних і конічних шестерень, розташованих у корпусі редуктора.

Для забезпечення польоту вертольота при одному працюючому двигуні, а також для можливості використання авторотації несучого гвинта в редукторі передбачено дві муфти вільного ходу, які автоматично відключають редуктор від одного або обох двигунів.

До складу редуктора входять такі вузли і системи (рис. 8):

- вал несучого гвинта; корпус вала гвинта; корпус редуктора; передня кришка; піддон;
- основний механізм редуктора з планетарною передачею; дві муфти вільного ходу; дві коробки приводів; маслосистема.

У коробках приводів, на корпусі редуктора й на передній кришці є такі приводи:

- привод хвостового гвинта; два приводи генераторів СГС-40ПУ; привод вентилятора; два приводи до насосів Н1Ш9-М; привод до насоса НШ39; привод до компресора АК-50Т1;
- два приводи датчика тахометра Д 1; привод до маслоагрегату.

Кінематична схема редуктора [7] представлена на рис. 9. Передача на вал несучого гвинта здійснюється через три ступеня редукції.

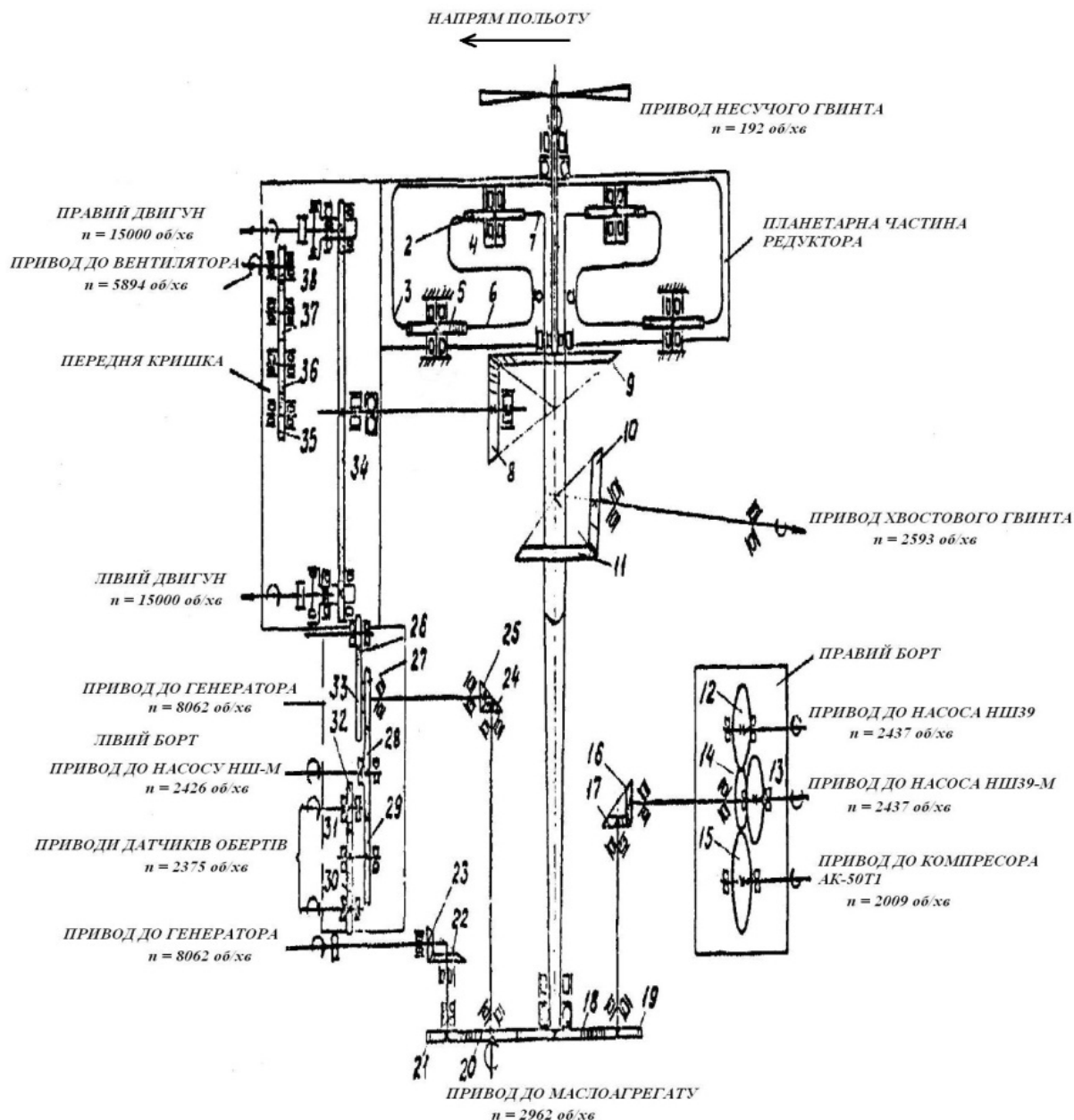
Перша ступінь редукції передає обертання від двох двигунів через муфти вільного ходу (обгінні муфти) і ведучі циліндричні косозубі шестерні 1 на ведену циліндричну косозубу шестерню 34. У першій ступені відбувається злиття силових потоків від двигунів. Передавальне відношення першої ступені 0,2780.

Друга ступінь складається з двох конічних спіралезубих шестерень 8 і 9 і служить для переведення горизонтальних осей обертання у вертикальні. Передавальне відношення другої ступені 0,4697.

Третя ступінь редуктора є диференціальним замкненим, в якому циліндричні прямозубі шестерні 2, 4, 7 складають диференціал (усі три ланки обертаються), а шестерні 3, 5, 6 утворюють замикаючий ланцюг диференціала. Шестерня 7 змонтована на одному валу з конічною шестернею 9 і є ведучою ланкою диференціала. Шестерні 4 (п'ять шт.) є сателітами, водило 2 яких з'єднано з валом несучого гвинта.

Шестерні 5 є проміжними колесами замикаючого ланцюга. Таким чином, у цій ступені крутний момент на вал несучого гвинта передається двома шляхами: через диференціал 2, 4, 7 і ланцюг замикання 3, 5, 6. Передавальне відношення третьої ступені 0,0979.

Сумарне передавальне відношення трьох ступенів становить 0,0128, що дає можливість отримати на валу несучого гвинта  $192 \text{ хв}^{-1}$  при  $15000 \text{ хв}^{-1}$  на вході в редуктор.



№ шестерні	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Число зубців	27	89	109	29	29	48	31	31	66	31	41	47	47	32	57
№ шестерні	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Число зубців	24	29	74	49	47	39	39	18	21	18	21	33	47	48	27
№ шестерні	31	32	33	34	35	36	37	38							
Число зубців	27	27	49	97	48	45	53	34							

Рис. 9. Кінематична схема редуктора ВР-14

Передача на хвостовий гвинт здійснюється через першу і другу ступінь редукції (загальними з передачею на несучий гвинт) і через додаткову підвищувальну ступінь із двох конічних шестерень 10 і 11 зі спіральними зубцями.

Приводи до агрегатів редуктора виведені на передню і задню частини, на лівий і правий борт корпусу редуктора:

а) на передню частину – привод вентилятора, який здійснений від циліндричної зубчастої шестерні 34 через циліндричні шестерні 35, 36, 37 і 38.

б) на задню частину – привод до генератора, який здійснюється від циліндричної шестерні 18 приводів через циліндричні шестерні 20, 21 і конічні 22 і 23;

в) приводи на лівий борт редуктора здійснені від циліндричної шестерні 20 приводу масляного агрегату через конічні шестерні 24 і 25 на набір циліндричних шестерень 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32 і 33;

г) приводи на правий борт редуктора здійснені від циліндричних шестерень 18, 19 через конічні шестерні 16 і 17 на набір циліндричних шестерень 12, 13, 14, 15.

У витрати технічного ресурсу редуктора зараховується 100% роботи редуктора в повітрі й 20 % роботи його на землі: Ресурс редуктора вказаний у формулярі.

Допустимий час роботи редуктора на режимах (у відсотках від ресурсу):

- на обмеженому зльоті від двох двигунів – 5, у тому числі на зльотному режимі від одного двигуна — 2 (по 1 % від кожного двигуна);

- на номінальному режимі від двох двигунів – 40, у тому числі від одного двигуна – 4 (по 2 % від кожного);

- крейсерські режими і малий газ – необмежено, у тому числі від одного двигуна – 4 (по 2 % від кожного);

Допускається робота редуктора від одного двигуна на зльотному режимі безперервно протягом однієї години один раз за ресурс.

Після одноразового використання цього режиму редуктор підлягає зняттю з об'єкта.

#### Основні технічні характеристики

Потужність, що передається редуктором, режими і час роботи на окремих режимах відповідають технічним даним і умовам, встановленим для двигуна.

Передавальне відношення до валу несучого гвинта ..... 0,0128

Приводи до агрегатів:

а) привод хвостового гвинта  
передавальне відношення ..... 0,1729

б) привод до генераторів СГС-40ПУ  
кількість ..... 2  
передавальне відношення ..... 0,5373

в) привод вентилятора  
передавальне відношення ..... 0,393

г) привод до насосів МШЗ9-М  
кількість ..... 2

передавальне відношення:

лівий насос ..... 0,1617

правий насос ..... 0,1623

д) привод до насоса НШЗ9  
передавальне відношення ..... 0,1623

е) привод до компресора АК-50Т1  
передавальне відношення ..... 0,1339

ж) привод до датчиків обертів Д-1  
кількість ..... 2

передавальне відношення ..... 0,1584

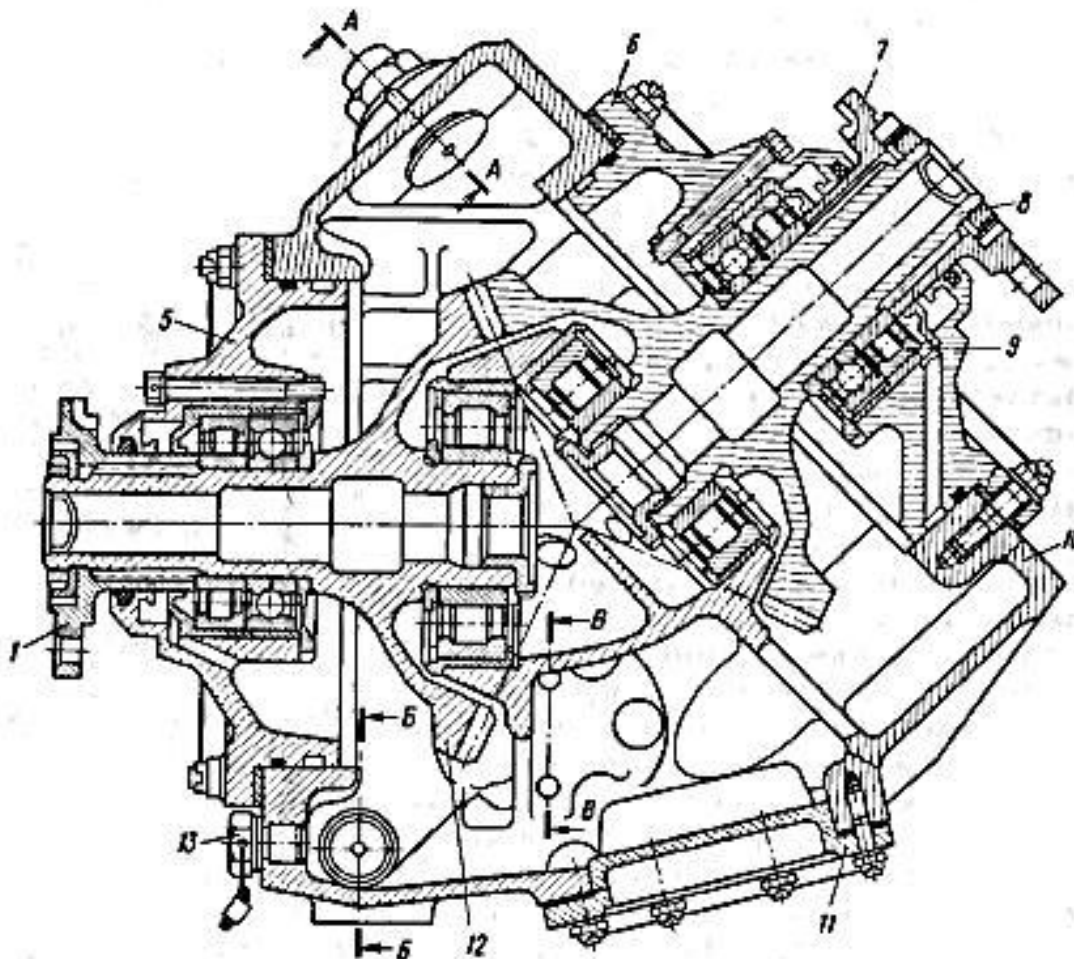
з) привод до маслоагрегату  
передавальне відношення ..... 0,1973

**Проміжний редуктор** (рис. 10) [5] призначений для зміни напрямку осі хвостового вала трансмісії на кут 45<sup>0</sup> відповідно до напрямку кінцевої балки.

Зміна напрямку осі хвостового вала досягається застосуванням у редукторі пари конічних зубчастих коліс з однаковою кількістю зубців без зміни частоти обертання ведучого і веденого валів редуктора.

**Основні технічні характеристики**

Передавальне відношення.....	1,0
Номінальна частота обертання, хв <sup>-1</sup> .....	2589



*Рис. 10. Проміжний редуктор ПР-8 у розрізі:*

*1, 7 – шліцеві фланці; 4 – суфлер; 5 – стакан з ведучим зубчастим колесом; 6 – стакан із веденим зубчастим колесом; 8 – ведене зубчасте колесо; 9 – шариковий і роликівий підшипники; 10 – картер; 11 – кришка; 12 – ведуче зубчасте колесо; 13 – пробка для установки термодатчика температури масла; 14 – масломірне скло*

**Хвостовий редуктор** (рис. 11) [5] призначений для привода рульового гвинта з необхідною частотою обертання.

Передача потужності на рульовий гвинт здійснюється парою конічних коліс зі спіральними зубцями, кут між осями обертання яких дорівнює 90°. Крім того, на хвостовий редуктор встановлюється механізм керування рульовим гвинтом у вигляді роликівого ланцюга, перекинутого через зірочку, з метою здійснення зміни кроку гвинтів для забезпечення шляхового керування вертольотом (рис. 12).

**Основні технічні характеристики**

Передавальне відношення.....	0,434
Номінальна частота обертання вала, хв <sup>-1</sup> :	
ведучого .....	2589
веденого.....	1124

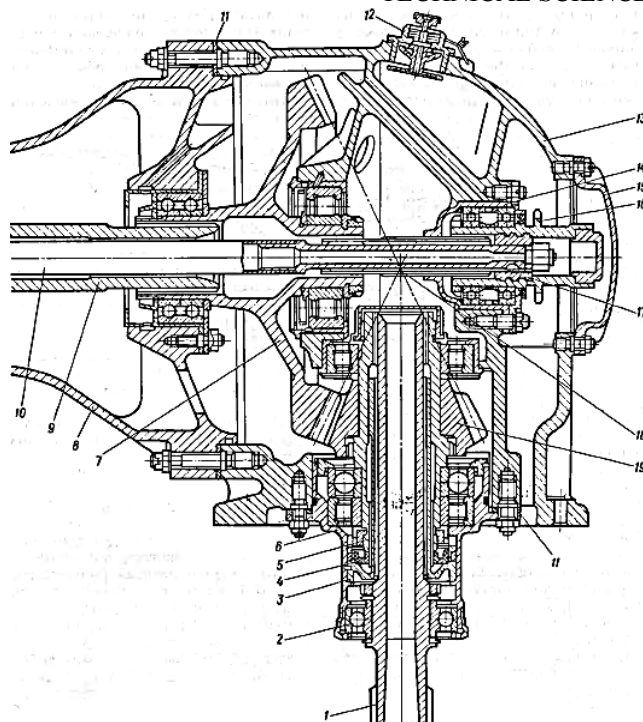


Рис. 11. Хвостовий редуктор ХР-8 у розрізі:

1 – ведучий вал; 2 – підшипник; 3 – маслоуцільнююча гільза; 4 – гумова манжета; 5 – втулка шліцева; 6 – стакан з ведучим зубчастим колесом; 7 – ведене зубчасте колесо; 8 – кришка з веденим зубчастим колесом і механізмом зміни кроку рульового гвинта; 9 – ведений вал; 10 – шток керування рульовим гвинтом; 11 – регулювальне кільце; 12 – суфлер; 13 – картер; 14 – стакан підшипників штока; 15 – кришка для монтажу механізму керування кроком рульового гвинта; 16 – зірочка ланцюгової передачі керування кроком рульового гвинта; 17 – ходовий гвинт з лівою шестизаходною різьбою; 18 – шліцева гільза; 19 – ведуче зубчасте колесо

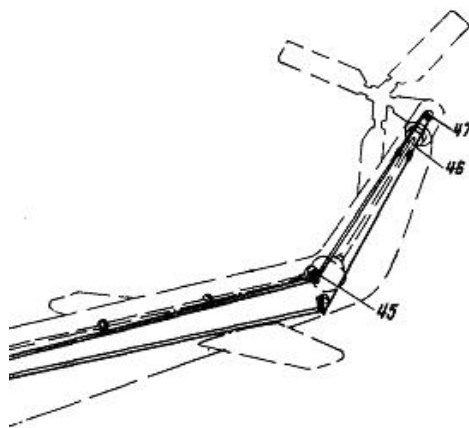


Рис. 12. Механізм керування рульовим гвинтом:

45 – ролики; 46 – роликовий ланцюг; 47 – зірочка хвостового редуктора

**Висновок відповідно до статті.** Розглянуті конструкції, кінематичні схеми та основні технічні характеристики головних редукторів ВР-8, ВР-8А, ВР-14, проміжного ПР-8 та хвостового ХР-8 редукторів для подальшого їх застосування з метою забезпечення підтримки стану льотної придатності наявного парку вертольотів типу Ми-8.

#### Список використаних джерел

1. *Авиационные зубчатые передачи и редукторы* / под ред. Э. Б. Булгакова. – М. : Машиностроение. 1982. – 375 с.
2. *Положение об установлении и увеличении ресурсов агрегатам трансмиссии вертолётов гражданской авиации.* – М., 2004. – 30 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

3. *Оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций* : труды конф., 6–9 июня, 2000 : в 2 т. / под ред. В. Т. Трошенко. – К. : Институт проблем прочности НАН Украины, 2000. – Т. 1. – 556 с., – Т. 2. – 401 с.

4. *Семенihin P. L.* Экспериментально-теоретическая оценка ресурсоспособности элементов вертолетных конструкций: дис. ... канд. техн. наук: спец. 05.22.14 / Семенihin Роман Леонидович ; Московский государственный технический университет гражданской авиации. – М., 2014. – 134 с.

5. *Данилов В. А.* Вертолет Ми-8. Устройство и техническое обслуживание / В. А. Данилов. – М. : Транспорт, 1988. – 278 с.

6. *Вертолет Ми-8.* Техническое описание. Книга II. Конструкция [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8\\_TO\\_kn2.pdf](http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8_TO_kn2.pdf).

7. *Главный редуктор ВР-14.* Руководство по технической эксплуатации 7871 РЭ. 1985 – 255 с.

## References

1. Bulgakov, A. B. (Ed.) (1982). *Aviatsionnye zubchatye peredachi i reduktory [Aviation gearing and reducers]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

2. *Polozhenie ob ustanovlenii i uvelichenii resursov agregatam transmissii vertoletov grazhdanskoi aviazii [Position about establishment and increase of resources to the aggregates of transmission of helicopters of civil aviation]* (2004). Moscow [in Russian].

3. Troschenko, V. T. (Ed.) (2000). *Ozenka i obosnovanie prodleniia resursa elementov konstrukzii [Estimation and ground of extension of resource of elements of constructions]*. (Vols. 1, 2). Kiev: Institut problem prochnosti NAN Ukrainy [in Russian].

4. Semenihin, R. L. (2014). *Eksperimentalno-teoreticheskaia ozenka resursosposobnosti elementov vertoletnykh konstruksii [Experimentally-theoretical estimation of resource ability elements of helicopter constructions]*. (Candidate's thesis). The Moscow State Technical University of Civil Aviation (MSTUCA), Moscow [in Russian].

5. Danilov, V. A. (1988). *Vertolet Mu-8. Ustrojstvo i tehlichesкое obsluzhivanie [Helicopter of Mi-8. Device and technical service]*. Moscow: Transport [in Russian].

6. *Vertolet Ми-8. Tehlichesкое opisanie. Kniga II: Konstruksiiia [Helicopter Ми-8. Technical description. Book of II. Construction]*. Retrieved from [http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8\\_TO\\_kn2.pdf](http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8_TO_kn2.pdf) [in Russian].

7. *Glavnyi reduktor VR-14. Rukovodstvo po tehlichesкой ekspluatatzii 7871 РЭ [Main reducer of VR-14. Guidance on technical exploitation 7871 РЭ]* (1985) [in Russian].

UDC 629.735.45Mu-8.004.2(022)

*Oleg Shapovalov, Denis Kolesnik, Oleg Pilipenko*

## CONSTRUCTIONS, KINEMATIC CHARTS AND SPECIFICATIONS OF HELICOPTER REDUCERS

**Urgency of the research.** Modern state of the most applied helicopters of Mu-8 different modifications are characterized by that in them there are reducers with the limited resource, the refuses of which directly influence on safety of flights. As in the near time replacements to this type of helicopters not expected, it is necessary to provide maintenance the state of flying fitness of present park of helicopters of this type.

**Target setting.** For the reasonable increase of resources main, intermediate and tail reducers it is necessary to have objective data about the parameters of elements of transmission.

**Actual scientific researches and issues analysis.** About efficiency of establishment and increase of resources it is testified the aggregates of transmission of helicopters of civil aviation : estimation and ground of extension of resource of construction elements in two volumes edited an academician V. T. Troschenko, Institute of problems of durability of NAS of Ukraine, worked out corresponding position of Russian FEDERATION (2004) and defence of dissertation on a similar theme (2014) concerning the helicopters of Mu-2.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Consideration of constructions, kinematic charts and basic specifications of main reducers of BP-8, BP-8A, BP-14, intermediate to ПП-8 and tail XP-8 reducers.

**The research objective.** To consider present initial data on such aggregates of transmission of helicopters of Mu-8 as main, intermediate and tail reducers, and also their gearing.

**The statement of basic materials.** Constructions, kinematic charts of reducers of BP-8, BP-8A, BP-14, ПП-8, XP-8 are considered and their gearing, and also corresponding basic specifications.

**Conclusion in accordance with the article.** Constructions, kinematic charts and basic specifications of main, intermediate and tail reducers are considered for their further application with the purpose of providing of maintenance of the state flying fitness of present park of helicopters of type Mu-8.

**Keywords:** constructions of main, intermediate and tail reducers of helicopter Mu-8; kinematic charts; specifications.

Fig.: 12. Table: 2. References: 7.

УДК 629.735.45Ми-8.004.2(022)

Олег Шаповалов, Денис Колесник, Олег Пилипенко

**КОНСТРУКЦИИ, КИНЕМАТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕРТОЛЁТНЫХ РЕДУКТОРОВ**

**Актуальность темы исследования.** Современное состояние наиболее применяемых вертолётных Ми-8 различных модификаций характеризуются тем, что в них имеются редукторы с ограниченным ресурсом, отказы которых непосредственно влияют на безопасность полётов. Поскольку в ближайшее время замены данному типу вертолётных не ожидается, необходимо обеспечить поддержание состояния лётной пригодности имеющегося парка вертолётных этого типа.

**Постановка проблемы.** Для обоснованного увеличения ресурсов главного, промежуточного и хвостового редукторов необходимо иметь объективные данные о параметрах элементов трансмиссии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Об эффективности установления и увеличения ресурсов агрегатам трансмиссии вертолётных гражданской авиации свидетельствуют: оценка и обоснование продления ресурса элементов конструкций в двух томах под редакцией академика В. Т. Троценко Института проблем прочности НАН Украины, разработанное соответствующее положение РФ (2004) и защита диссертации на сходную тему (2014) касательно вертолётных Ми-2.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Рассмотрение конструкций, кинематических схем и основных технических характеристик главных редукторов ВР-8, ВР-8А, ВР-14, промежуточного ПР-8 и хвостового ХР-8 редукторов.

**Цель статьи.** Рассмотреть имеющиеся начальные данные по таким агрегатам трансмиссии вертолётных Ми-8, как главный, промежуточный и хвостовой редукторы, а также их зубчатые передачи.

**Изложение основного материала.** Рассмотрены конструкции, кинематические схемы редукторов ВР-8, ВР-8А, ВР-14, ПР-8, ХР-8 и их зубчатые передачи, а также соответствующие основные технические характеристики.

**Вывод в соответствии со статьёй.** Рассмотрены конструкции, кинематические схемы и основные технические характеристики главных, промежуточного и хвостового редукторов для дальнейшего их применения с целью обеспечения поддержания состояния лётной пригодности имеющегося парка вертолётных типа Ми-8.

**Ключевые слова:** конструкции главных, промежуточного и хвостового редукторов вертолётных Ми-8; кинематические схемы; технические характеристики.

Рис.: 12. Табл.: 2. Библ.: 7.

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

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

**Shapovalov Oleg** – Chief of Department, State Scientifically-testing Center of Armed Forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** AK1149SV@ukr.net

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

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

**Kolesnik Denis** – Chief of Separation, State Scientifically-testing Center of Armed Forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

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

**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), провідний науковий співробітник, Державний науково-випробувальний центр Збройних сил України (вул. Стрілецька, 1, м. Чернігів, 14003, Україна).

**Пилипенко Олег Иванович** – 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), ведущий научный сотрудник, Государственный научно-испытательный центр Вооружённых сил Украины (ул. Стрелецкая, 1, г. Чернигов, 14003, Украина).

**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), leading scientific coworker, of State Scientifically-testing Center of Armed Forces of Ukraine (1 Shooter Str., 14003 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-003-0590-0107>

**Scopus Author ID:** 16510833000

**ResearcherID:** G-2533-2016



Фам Дык Куан, Александр Тимошенко, Антон Бабак, Виктор Коваль

## ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ С УЧЕТОМ ВИДА НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

**Актуальность темы исследования.** Задачи, которые предъявляются к ответственным деталям на сегодняшний день, – это повышенные требования к прочности, жесткости с уменьшением металлоёмкости за счет усложнения форм конструкции с применением новых сплавов. Развитие технологий в области машиностроения, требует новых подходов в методике расчета и прогнозирования остаточного ресурса ответственных элементов конструкций, как на стадии проектирования, так и во время эксплуатации. Учет влияния вида напряжённого состояния в методиках расчета использующие только данные простых нагрузок, позволит упростить и сократить время для проведения расчетов. Поэтому актуальным является разработка критерия предельного состояния с учетом вида напряженного состояния.

**Постановка проблемы.** При прогнозировании ресурсов ответственных элементов конструкций с учетом влияния вида напряженного состояния необходимо знать соответствующую кинетику накопления повреждения и критерий предельного состояния. Эти данные можно получить экспериментально для простых нагрузок, таких как растяжение и кручение, но для других видов напряженного состояния является затрудненным.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены работы многих авторов по решению данной проблемы основанные на разных подходах.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Анализ изменения критической величины повреждения с учетом параметра залечивания и влияния на ее вида напряженного состояния.

**Постановка задачи.** Разработка критерия предельного состояния для металлических конструкционных материалов с учетом вида напряжённого состояния.

**Изложение основного материала.** Зависимость предельного значения повреждения от вида напряженного состояния при переходе от растяжения в кручение происходит с помощью параметра Надаи-Лоде. Законом для перехода принято уравнение эллипса, где в роли угла выступает вид напряженного состояния, а главные радиусы эллипса считаются предельные величины повреждения и деформаций при растяжении и кручении. Учет механизма сжатия происходит за чет параметра залечивания

**Выводы в соответствии со статьёй.** Предложен критерий предельного состояния металлических конструкционных материалов, учитывающий два механизма разрушения: отрыв и срез, вид напряженного состояния и изменение знака осевого усилия.

**Ключевые слова:** критерий предельного состояния; сложное напряженное состояние; металлические конструкционные материалы; кинетика накопления повреждений.

Рис.: 8. Табл.: 2. Библ.: 10.

**Актуальность темы исследования.** На сегодняшний день большое количество ответственных элементов конструкций в машиностроительной, авиастроительной и других инженерных сферах работают в условиях комбинированного нагружения внешними нагрузками, что приводит к возникновению в них сложного напряженного состояния. При этом для оценки несущей способности используются методы, которые основаны на анализе возникающих в опасной зоне напряжений и деформаций.

**Постановка проблемы.** Однако на сегодня существующие методики качественной и количественной оценки предельного состояния конструкционных материалов и элементов конструкций на стадии зарождения макротрещины трудоёмкие и сложны в расчетах либо они пригодны только для конкретной марки материала.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Так же много авторов занимались проблемой определения кинетики накопления повреждений и создания модели [1; 2; 3; 4] и критериев предельного состояния.

**Выделение неисследованных ранее частей общей проблемы.** Исходя из этого, актуальным остаётся разработка критерия предельного состояния с учетом повреждаемости при сложном напряжённом состоянии для металлических конструкционных материалов.

**Постановка задачи.** Разработка критерия предельного состояния для металлических конструкционных материалов с учетом вида напряжённого состояния.

**Изложение основного материала.** В роли параметра вида напряженного состояния было принято использовать параметр Надаи-Лоде, который определяется по формуле:

$$\mu = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}, \sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3, \quad (1)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения.

Данный параметр позволяет описать не только вид напряженного состояния и влияние второго главного напряжения, но и учитывает скольжение, как один из механизмов пластического деформирования. Он указывает на влияние двух других экстремальных касательных напряжений [5]:

$$\tau_{23} = (\sigma_2 - \sigma_3)/2; \tau_{12} = (\sigma_1 - \sigma_2)/2.$$

Достоинством такого подхода является возможность описания напряженно-деформированного состояния для различных материалов на основании обобщенной диаграммы Мора. Известно, что при одноосном растяжении  $\mu = -1$ , при кручении  $\mu = 0$ , а при сжатии  $\mu = 1$ . Это означает, что роль площадок с касательными напряжениями при  $\mu = -1$  по сравнению с  $\mu = 0$  возрастает [5].

По аналогии с подходом Давиденко-Фридмана [6], в работе было предложено три варианта построения кривых изменения критической величины поврежденности от функции вида напряженного состояния  $f(\mu)$ , которые учитывают два механизма разрушения, как показано на рис. 1.

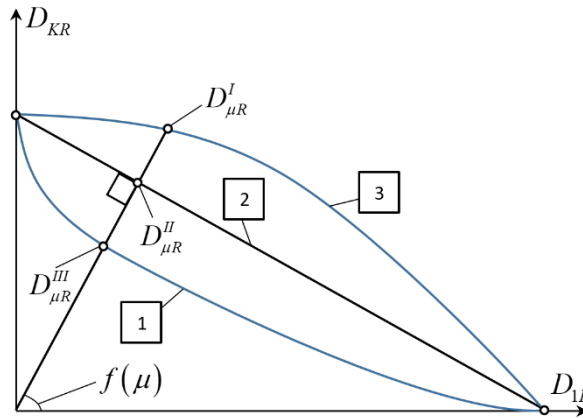


Рис. 1. Варианты изменения критической величины поврежденности в зависимости от функции влияния вида напряженного состояния:

1 – вогнутое криволинейное изменение; 2 – линейное изменение; 3 – выпуклое криволинейное изменение

На основе анализа экспериментальных данных, полученных при простом растяжении, было установлено, что при растяжении критическая величина поврежденности  $D_{1R}$ , которая соответствует моменту разрушения, принимает максимальное значение, величина поврежденности при кручении  $D_{KR}$  – минимальное, а значения параметра поврежденности, полученные при комбинированном (одновременное действие растяжения и кручения) нагружении находятся между этими двумя величинами.

При сложном напряжённом состоянии накопление повреждений в материале происходит вследствие одновременного действия механизмов отрыва и сдвига, но разрушение образца происходит именно за счёт преобладающего среди них. Таким образом, критическая величина поврежденности  $D_{\mu R}$  при сложном напряженном состоянии будет принимать значение в пределах:

$$\begin{cases} D_{KR} \leq D_{\mu R} \leq D_{1R}, \text{ при } \mu \geq 0 \\ D_{KR} \leq D_{\mu R} \leq D_{-1R}, \text{ при } \mu \leq 0, D_{KR} \leq D_{-1R} \\ D_{KR} \geq D_{\mu R} \geq D_{-1R}, \text{ при } \mu \leq 0, D_{KR} \geq D_{-1R} \end{cases} \quad (2)$$

Из кривой 1 на рис. 1, следует, что:

$$\begin{cases} D_{\mu R}^I \leq D_{KR} \leq D_{1R}, \text{ при } \mu \geq 0 \\ D_{\mu R}^I \leq D_{KR} \leq D_{-1R}, \text{ при } \mu \leq 0, D_{KR} \leq D_{-1R} \\ D_{\mu R}^I \geq D_{KR} \geq D_{-1R}, \text{ при } \mu \leq 0, D_{KR} \geq D_{-1R} \end{cases} \quad (3)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Из кривой 2 на рис. 1, следует, что:

$$\begin{cases} D_{\mu R}^{II} \leq D_{KR} \leq D_{1R}, \text{ при } \mu \geq 0 \\ D_{\mu R}^{II} \leq D_{KR} \leq D_{-1R}, \text{ при } \mu \geq 0, D_{KR} \leq D_{-1R} \\ D_{\mu R}^{II} \geq D_{KR} \geq D_{-1R}, \text{ при } \mu \geq 0, D_{KR} \geq D_{-1R} \end{cases} \quad (4)$$

Из кривой 3 на рис. 1, следует, что:

$$\begin{cases} D_{KR} \leq D_{\mu R}^{III} \leq D_{1R}, \text{ при } \mu \geq 0 \\ D_{KR} \leq D_{\mu R}^{III} \leq D_{-1R}, \text{ при } \mu \geq 0, D_{KR} \leq D_{-1R} \\ D_{KR} \geq D_{\mu R}^{III} \geq D_{-1R}, \text{ при } \mu \geq 0, D_{KR} \geq D_{-1R} \end{cases} \quad (5)$$

где  $D_{-1R}$  – критическое значение поврежденности при сжатии.

Среди приведенных систем неравенств (3)–(5) только система (5), которая характеризует кривую 3 на рис. 1, удовлетворяет условию (2).

В первом приближении, кривую 3 на рис. 1 можно описать четвертью эллипса. Используя уравнение эллипса, запишем критическое значение параметра поврежденности в зависимости от функции вида напряженного состояния, которая геометрически может быть интерпретирована в виде угла, как показано на рис. 1, получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} D_{1R} = \frac{D_{1R} \cdot D_{KR}}{\sqrt{D_{KR}^2 \cdot \cos^2 f(\mu) + D_{1R}^2 \cdot \sin^2 f(\mu)}}, \mu \geq 0 \\ D_{-1R} = \frac{D_{-1R} \cdot D_{KR}}{\sqrt{D_{KR}^2 \cdot \cos^2 f(\mu) + D_{-1R}^2 \cdot \sin^2 f(\mu)}}, \mu < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Так как известно, что кинетика накопления повреждений и критическая величина поврежденности при растяжении и сжатии отличаются [7], то зависимость её величины от функции вида напряжённого состояния должна описываться двумя эллипсами, каждый из которых отвечает соответствующему виду нагружения (растяжение и сжатие). Первое уравнение в системе (5) описывает эллипс –А во 2 и 4 четверти на рис. 2, который характеризуется видом напряжённого состояния при комбинации растяжения и кручения. Второе уравнение описывает эллипс –В в 1 и 3 четверти на рис. 2, который характеризуется видом напряжённого состояния при комбинации сжатия и кручения. Таким образом система уравнений (6) описывает фигуру-С, в которую входит эллипс – А во 2 и 4 четверти и эллипс В – в 1 и 3 четверти.

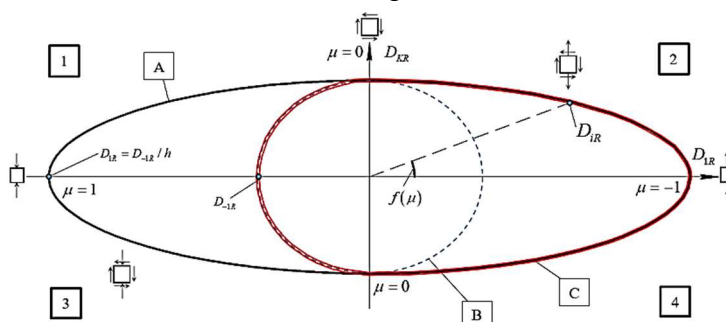


Рис. 2. Зависимость критической величины поврежденности от функции вида напряжённого состояния

В работе [8] было предложено определять критическую величину поврежденности при сжатии  $D_{-1R}$  через ее критическое значение при растяжении  $D_{1R}$ , в виде:

$$D_{-1R} = h \cdot D_{1R}, \quad (7)$$

где  $h$  – параметр залечивания, который учитывает влияние процессов, которые происходят при сжатии материала на величину параметра поврежденности и определяется экспериментально.

Значение параметра залечивания для некоторых металлических конструкционных материалов, представленных в работе [9; 10], приведены в табл. 1.

Таблица 1

*Величина параметра залечивания для некоторых металлических конструкционных материалов*

Материал	Параметр $h$
Сталь 45	0,42...0,47
12X18H10T	0,56...0,66
BT22	0,39...0,48
Д16Т	0,26...0,36

Введем параметр, который будет учитывать знак продольного усилия при комбинации нагрузок, соответствующих растяжению, сжатию и кручению:

$$k = \frac{-\mu}{|\mu|}. \quad (8)$$

Данный параметр может принимать только два значения: 1 при напряжённом состоянии, которое соответствует комбинации растяжения и кручения, -1 при напряжённом состоянии соответствующем комбинации сжатия и кручения.

Учитывая формулу (7) и параметр (8), получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} D = D_{1R}, k = 1; \\ D = h \cdot D_{1R}, k = -1. \end{cases} \quad (9)$$

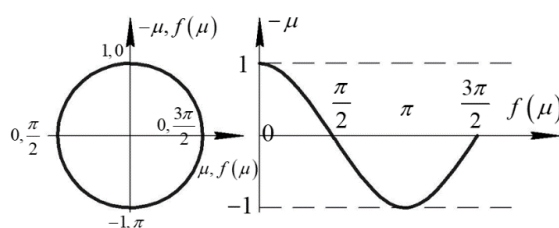
Перепишем систему (9), в виде уравнения прямой в координатах  $D - k$ :

$$\frac{D - D_{1R}}{h \cdot D_{1R} - D_{1R}} = \frac{k - 1}{-1 - 1}. \quad (10)$$

В результате преобразования уравнения (10) получим:

$$D = D_{1R} \left[ \frac{(k-1)(h-1)}{-2} + 1 \right]. \quad (11)$$

Поскольку параметр Надаи-Люде принимает значения в диапазоне от -1 до 1, в первом приближении, опишем функцию вида напряженного состояния  $f(\mu)$  с помощью арккосинуса этого параметра, как представлено на рис. 3.



*Рис. 3. Зависимость параметра Надаи-Люде от функции вида напряженного состояния*

Аналитически это можно записать следующим образом:

$$f(\mu) = \arccos(-\mu). \quad (12)$$

Подставим уравнения (11) и (12) в первое уравнение системы (5), окончательно получим:

$$D_{1R} = \frac{D_{1R} \left[ \frac{(k-1)(h-1)}{-2} + 1 \right] \cdot D_{KR}}{\sqrt{D_{KR}^2 \cdot \cos^2 \arccos(-\mu) + \left\{ D_{1R} \left[ \frac{(k-1)(h-1)}{-2} + 1 \right] \right\}^2 \cdot \sin^2 \arccos(-\mu)}}. \quad (13)$$

Уравнение (13) полностью описывает фигуру – С на рис. 2 и позволяет определять критическую величину повреждаемости в зависимости от вида напряжённого состояния и значения параметра залечивания материала.

Аналогичным образом можно получить эллипс (рис. 4), который описывает критическое значение интенсивности деформаций в зависимости от вида напряжённого состояния.

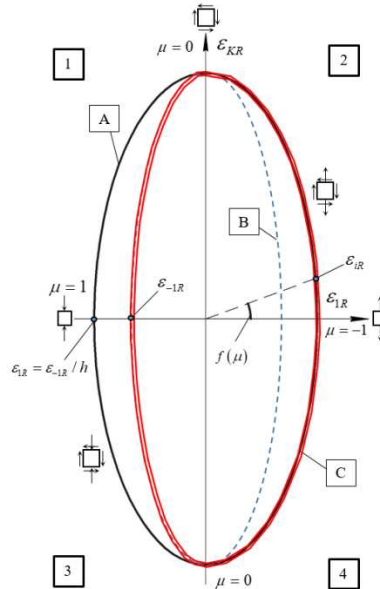


Рис. 4. Зависимость критической величины интенсивности деформаций от функции вида напряжённого состояния

Соответственно, уравнение зависимости критического значения интенсивности деформаций от вида напряжённого состояния, может быть записано как:

$$\epsilon_{1R} = \frac{\epsilon_{KR} \left[ \frac{(k-1)(h-1)}{-2} + 1 \right]}{\sqrt{\epsilon_{KR}^2 \cdot \cos^2 \arccos(-\mu) + \left\{ \epsilon_{1R} \left[ \frac{(k-1)(h-1)}{-2} + 1 \right] \right\}^2 \cdot \sin^2 \arccos(-\mu)}} \quad (14)$$

Уравнения (13) и (14) демонстрируют зависимости критической величины параметра поврежденности и интенсивности деформаций от вида напряжённого состояния при этом графически они могут быть представлены как показано на рис. 5.

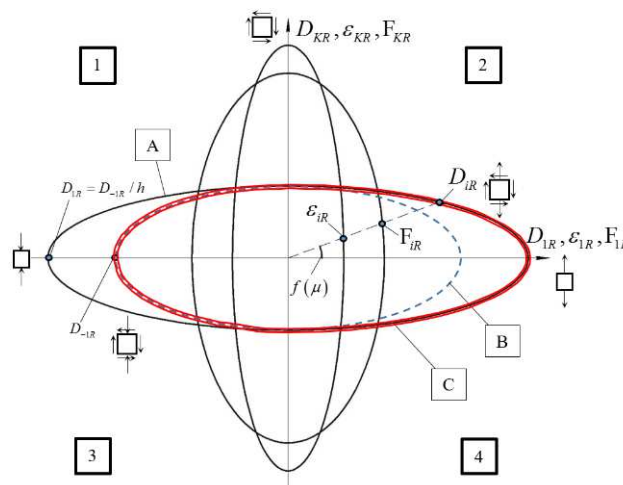


Рис. 5. Зависимость критической величины поврежденности и интенсивности необратимых деформаций от функции вида напряжённого состояния

В работе [7] для материалов Д16Т, 30ХГСА и 12Х18Н10Т были экспериментально установлены критические величины параметра поврежденности в случае простого растяжения и кручения, которые приведены в табл. 2

Таблица 2

*Критические величины параметра поврежденности и интенсивности деформаций при растяжении и кручении для материалов Д16Т, 30ХГСА и 12Х18Н10Т*

Материал	Д16Т	30ХГСА	12Х18Н10Т
$D_{1R}$	0,083	0,350	0,475
$\varepsilon_{1R}$	0,066	0,235	0,748
$D_{KR}$	0,022	0,0151	0,067
$\varepsilon_{KR}$	0,189	0,742	1,057

Используя экспериментальные данные, приведенные в табл. 2 и уравнении (15), получим зависимость критической величины поврежденности от интенсивности деформаций с учетом вида напряжённого состояния для материалов Д16Т, 30ХГСА и 12Х18Н10Т. Графически эти зависимости представлены на рис. 6–8 соответственно, где  $D_i$  – скалярная величина повреждаемости.

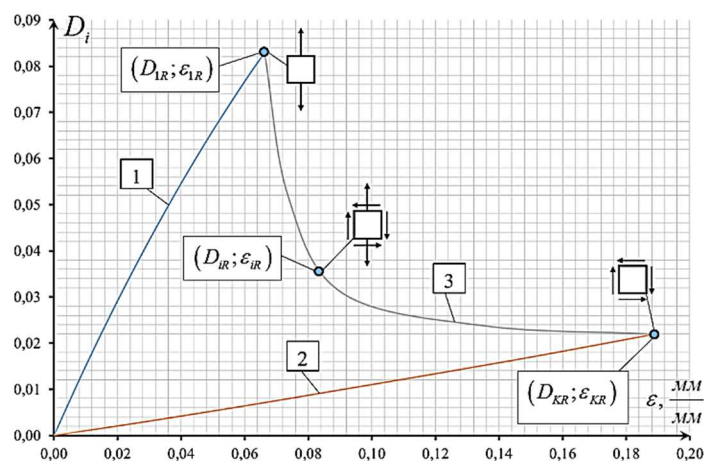


Рис. 6. Зависимость критической величины параметра поврежденности от интенсивности деформаций с учетом влияния вида напряженного состояния для Д16Т

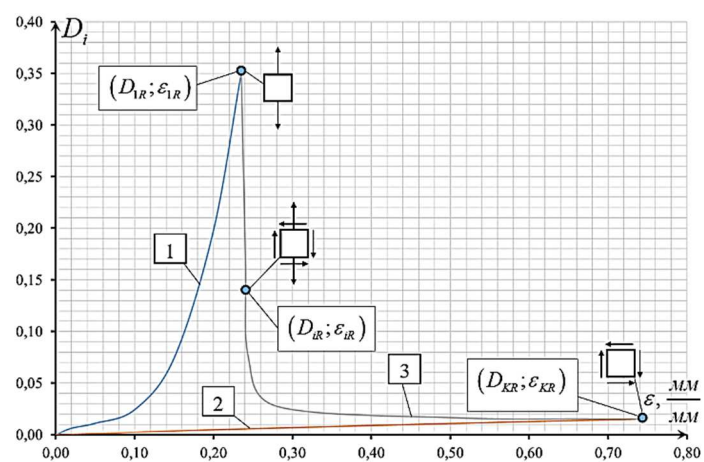


Рис. 7. Зависимость критической величины параметра поврежденности от интенсивности деформаций с учетом влияния вида напряженного состояния для 30ХГСА

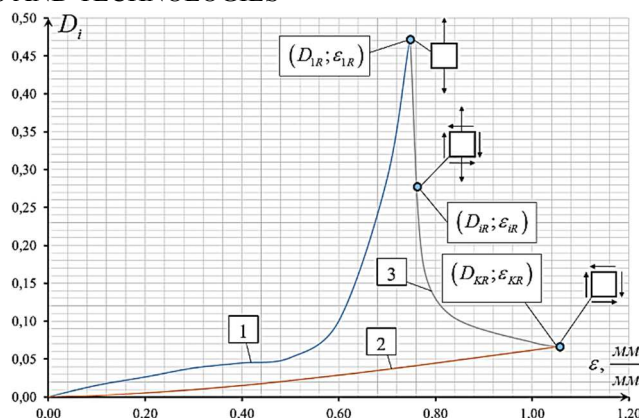


Рис. 8. Зависимость критической величины параметра поврежденности от интенсивности деформаций с учетом влияния вида напряженного состояния для 12X18H10T

**Выводы в соответствии со статьей.** На основании подхода Давиденко-Фридмана для металлических конструкционных материалов был предложен критерий предельного состояния, учитывающий два механизма разрушения отрывом и срезом, который позволяет оценить прочность конструкции по параметру поврежденности. При этом с помощью введения в рассмотрение параметра залечивания учитывается влияние изменения знака осевой нагрузки. Используя предложенный критерий для 12X18H10T, 30ХГСА и Д16Т были получены расчетные кривые зависимости критического значения параметра поврежденности от величины предельной деформации.

#### Список использованных источников

1. *Lemaitre J. Engineering Damage Mechan Ductile, Creep, Fatigue and Brittle Failures / J. Lemaitre, R. Desmorat. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. – 372 с.*
2. *Комплексная оценка повреждаемости материала при пластическом деформировании / А. А. Лебедев, Н. Г. Чаусов, И. О. Богинич, С. А. Недосека // Проблемы прочности. – 1996. – № 5. – С. 23–30.*
3. *Лебедев А. О. Определение поврежденности конструкционных материалов по параметрам рассеяния характеристик твердости / А. О. Лебедев, М. Р. Музыка, Н. Л. Волчек // Проблемы прочности. – 2002. – № 4. – С. 5–12.*
4. *Bonora N. On the effect of triaxial state of stress on ductility using nonlinear CDM model / N. Bonora // Internation journal of Fatigue. – 1997. – № 88. – P. 359–371.*
5. *К вопросу построения предельной поверхности прочности торфяных структурных систем / Б. Ф. Зюзин, В. А. Мироно, А. Б. Зюзин, С. А. Юдин // Вестник ТвГТУ. – 2014. – Вып. 26, № 2. – С. 41–50.*
6. *Писаренко Г. С. Деформирование и прочность материалов при сложном напряженном состоянии / Г. С. Писаренко, А. А. Лебедев. – К. : Наукова думка, 1976. – 416 с.*
7. *Грабовський А. П. Кінетика розсіяного руйнування конструкційних матеріалів при крученні / А. П. Грабовський, О. В. Тимошенко, О. П. Халімон // Машиностроение и техносфера XXI века : сборник трудов международной научно-технической конференции. – 2007. – Вып. 33. – С. 213–217.*
8. *Lemaitre J. A Course on Damage Mechanics / Jean Lemaitre. – Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 1996. – 228 с.*
9. *Оцінка кінетики накопичення пошкоджень в конструкційних матеріалах в умовах пружно-пластичного стискання / А. П. Грабовський, О. П. Халімон, О. В. Тимошенко, Ф. Лаугвітц // Вестник НТУУ КПИ. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 28–30.*
10. *Грабовский А. П. О кинетике деформационного накопления повреждений в конструкционных материалах при переменном деформировании / А. П. Грабовский, А. В. Тимошенко, А. П. Халимон // Прогрессивные технологии и системы машиностроения : международный сборник научных трудов. – 2005. – Вып. 30. – С. 75–80.*

## References

1. Lemaitre, J. A. (2005). *Engineering Damage Mechan Ductile, Creep, Fatigue and Brittle Failures*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
2. Lebedev, A. A., Chausov, N. H. , Bohynych, Y. O. and Nedoseka, S. A. (1996). Kompleksnaia otsenka povrezhdaemosti materiala pri plasticheskom deformirovanii [Complex assessment of material damage during plastic deformation]. *Problemy prochnosti – Strength problems*, 5, 23–30 [in Russian].
3. Lebedev, A. O., Muzyka, M. R. and Volchek, N. L. (2002). Opredelenie povrezhdennosti konstruktsionnykh materialov po parametram rasseianiia kharakteristik tverdosti [Determination of damage for structural materials from the parameters of scattering of hardness characteristics]. *Problemy prochnosti – Strength problems*, 4, 5–12 [in Russian].
4. Bonora, N. (1997). On the effect of triaxial state of stress on ductility using nonlinear CDM model. *International journal of Fatigue*, 88, 359–371 [in English].
5. Ziuzin, B. F., Mironov, V. A., Ziuzin, A. B. and Iudin S. A. (2014). K voprosu postroeniia predelnoi poverkhnosti prochnosti torfianykh strukturnykh system [To the question of constructing the ultimate surface strength of peat structural systems]. *Vestnik TvGTU – Bulletin of the TSTU*, 2 (26), 41–50 [in Russian].
6. Pisarenko, G. S. and Lebedev, A. A. (1976). *Deformirovanie i prochnost materialov pri slozhnom napriazhennom sostoianii [Deformation and Strength of Materials in Complex Stress State]*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
7. Hrabovskyi, A. P., Tymoshenko, O. V. and Khalimon, O. P. (2007). Kinetyka rozsiianoho ruinuvannia konstruktsiinykh materialiv pry kruchenni [Kinetics of scattered destruction of structural materials in torsion]. *Mashinostroenie i tekhnosfera XXI veka – Mechanical engineering and technosphere of the XXI century. Proceedings of the International Scientific and Technical Conference*, 33, 213–217 [in Ukrainian].
8. Lemaitre, J. A. (1996). *Course on Damage Mechanics*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
9. Hrabovskyi, A. P., Khalimon, O. P., Tymoshenko, O. V. and Lauhvits, F. (2005). Otsinka kinetyky nakopychennia poskodzhen v konstruktsiinykh materialakh v umovakh pruzhno-plastychnoho styskannia [Estimation of kinetics of accumulation of damages in structural materials under conditions of elastic-plastic compression]. *Vestnik NTUU KPY. Mashynostroenie – Bulletin of the NTUU «KPI», series «Mechanical engineering*, 46, 28–30 [in Russian].
10. Hrabovskyi, A. P., Tymoshenko, O. V. and Khalimon, O. P. (2005). O kinetike deformatsionnogo nakopleniia povrezhdenii v konstruktsionnykh materialakh pri peremennom deformirovanii [On the kinetics of deformation accumulation of damages in structural materials with variable deformation]. *Progressivnye tekhnologii i sistemy mashinostroeniia – Progressive technologies and systems of mechanical engineering. International collection of scientific works*, 30, 75–80 [in Russian].

UDC 539

Pham Duc Quan, Oleksandr Tymoshenko, Anton Babak, Viktor Koval

## DAMAGEABILITY OF METALLIC MATERIALS TAKING INTO ACCOUNT THE STRESS STATE

**Urgency of the research.** Rapid development in the field of mechanical engineering, requires new techniques for predicting the residual resource of responsible structural elements, both at the design stages and during exploitation. Accounting for the influence of the type of stress state in techniques that use only data of simple load will increase the reliability of calculations. Therefore, it is urgent to develop a criterion for the limiting state with allowance the stressed state.

**Target setting.** When predicting the resources of the responsible structural elements, taking into account the influence of the stress state, it is necessary to know the corresponding kinetics of damage accumulation and the criterion of the limiting state. These data can be easily obtained experimentally for simple loads, such as tension and torsion test, but it is difficult for other types of stress state.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Numerous works a solving this problem based on different approaches were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Analysis of the change in the critical value of damage with regard to the healing parameter and the influence of the type of stress state.

**The research objective.** Development of the limit state criterion for metal structural materials taking into account the type of stress state.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**The statement of basic materials.** The dependence of the limiting value of the damage on the stressed state from tension to torsion occurs with the aid of the Nadai-Lode parameter. The law of change was taken by ellipse equation is adopted, where the angle is the form of the stressed state, and the main radius of the ellipse are the limiting values of damage and deformations in the case of tension and torsion. The compression mechanism is accounted for by the parameter of healing.

**Conclusions.** Criterion for the limiting state of metallic structural materials with allowance for the stress state are proposed, based on the analysis of the experimental data of the critical value of the damage under two different mechanisms of failure, separation and shearing.

**Keywords:** criterion of the limiting state; complex stress state; metallic structural materials; kinetics of damage accumulation.  
Fig.: 8. Table: 2. References: 10.

УДК 539

Фам Дик Куан, Олександр Тимошенко, Антон Бабак, Віктор Коваль  
**ПОШКОДЖУВАНІСТЬ МЕТАЛЕВИХ МАТЕРІАЛІВ З УРАХУВАННЯМ  
ВИДУ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ**

**Актуальність теми дослідження.** Стрімкий розвиток у галузі машинобудування вимагає нових методів прогнозування залишкового ресурсу відповідальних елементів конструкцій як на стадії проектування, так і під час експлуатації. Врахування впливу виду напруженого стану в методах, які використовують тільки дані простих навантажень, дозволить підвищити достовірність розрахунків. Тому актуальним є розробка критерію граничного стану з урахуванням виду напруженого стану.

**Постановка проблеми.** У процесі прогнозування ресурсу відповідальних елементів конструкцій з урахуванням впливу виду напруженого стану необхідно знати відповідні кінетику накопичення пошкодження і критерій граничного стану. Ці дані можна легко отримати експериментально для простих навантажень, таких як розтяг і кручення, але для інших видів напруженого стану є важким.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Було розглянуто велику кількість робіт авторів щодо вирішення цієї проблеми, які ґрунтуються на різних підходах.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Аналіз зміни критичної величини пошкоджуваності з урахуванням параметра заліковування і вплив виду напруженого стану.

**Постановка завдання.** Розробка критерію граничного стану для металевих конструкційних матеріалів з урахуванням виду напруженого стану.

**Виклад основного матеріалу.** Залежність граничного значення пошкодження від виду напруженого стану при переході від розтягу в кручення відбувається за допомогою параметра Надаї-Лодє. Законом переходу прийнято рівняння еліпса, де в ролі кута виступає вид напруженого стану, а головні радіуси еліпса вважаються граничними величинами пошкодження і деформацій під час розтягу і кручення. Врахування механізму стиснення відбувається за рахунок параметра заліковування.

**Висновки відповідно до статті.** Запропоновано критерії граничного стану металевих конструкційних матеріалів з урахуванням виду напруженого стану, який оснований на аналізі експериментальних даних критичної величини пошкодження при двох різних механізмах руйнування, відриві й зрізі.

**Ключові слова:** критерій граничного стану; складний напружений стан; металеві конструкційні матеріали; кінетика накопичення пошкодження.

Рис.: 8. Табл.: 2. Бібл.: 10.

**Фам Дык Куан** – аспірант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Фам Дик Куан** – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Pham Duc Quan** – PhD student, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Victory Av., 03056 Kiev, Ukraine).

**E-mail:** famquan1992@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5000-1138>

**Тимошенко Александр Викторович** – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Тимошенко Олександр Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Tymoshenko Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Victory Av., 03056 Kiev, Ukraine).

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5000-1138>

**ScopusAuthorID:** 12791413500

**Бабак Антон Николаевич** – аспірант, ассистент кафедры ДПМ и СМ, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Бабак Антон Миколайович** – аспірант, асистент кафедри ДММ та ОМ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Babak Anton** – PhD student, assistant of Department of CMD and SM, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Victory Av., 03056 Kiev, Ukraine).

**E-mail:** [sopromat\\_dpm@ukr.net](mailto:sopromat_dpm@ukr.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-5088-5578>

**ResearcherID:** L-4659-2018

**Коваль Віктор Вікторович** – аспірант, асистент кафедри ДПМ і СМ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, г. Київ, 03056, Україна).

**Коваль Віктор Вікторович** – аспірант, асистент кафедри ДММ та ОМ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Koval Viktor** – PhD student, assistant of Department of CMD and SM, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Victory Av., 03056 Kiev, Ukraine).

**E-mail:** [department\\_5@ukr.net](mailto:department_5@ukr.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5605-7805>

**ResearcherID:** L-4647-2018

**Scopus Author ID:** 57196002672

## РОЗДІЛ II. ТЕХНОЛОГІЇ

# МАШИНОБУДУВАННЯ ТА АВТОТРАНСПОРТУ

УДК 621.923.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-59-68

### Віталій Кальченко, Володимир Кальченко, Наталія Сіра, Ярослав Кужельний

#### ДОСЛІДЖЕННЯ СИЛ РІЗАННЯ ОДИНИЧНОГО АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ПРИ ШЛІФУВАННІ ЗІ СХРЕЩЕНИМИ ОСЯМИ КРУГА ТА ДЕТАЛІ

*Актуальність теми дослідження.* Процес шліфування є важливим фактором, який впливає на процес формоутворення поверхневого шару деталі.

*Постановка проблеми.* Під час шліфування на кінцевий результат обробки впливають різноманітні фактори, які пов'язані з абразивним інструментом. Ці фактори впливають на величину та напрямок дії сил різання абразивного зерна. Досліджуючи сили різання цього зерна, можна визначити продуктивність процесу шліфування.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* У наукових роботах наведено результати різноманітних експериментальних досліджень процесу шліфування. Проте не було враховано вплив різальних кромок, які деформують деталь. Опубліковані роботи, у яких розглянуто теоретичні основи моделювання алмазно-абразивних інструментів та відсутні детальні дослідження, пов'язані з абразивним інструментом.

*Виділення недосліджених частин загальної проблеми.* Відсутність дослідження впливу деформації деталі різальними крокками абразивного зерна на сили різання під час шліфування.

*Постановка завдання.* Метою цієї статті є дослідження сил різання одиничного абразивного зерна та вплив кромок, які деформують деталь без зняття стружки під час шліфування.

*Виклад основного матеріалу.* Перед початком процесу різання абразивними зернами, відбувається довготривале ковзання ріжучої кромки в місці контакту. Це ковзання супроводжується пластичною деформацією металу. Інші ріжучі кромки в цей час виконують роботу тертя і пружної та пластичної деформації, що відбувається без зняття стружки. Для визначення моменту, коли закінчується пластична деформація і починається зняття стружки, є критерій, який являється відношенням глибини врізання до радіуса заокруглення вершини ріжучої кромки.

*Висновки відповідно до статті.* Уперше, використовуючи 3D-модель процесу шліфування, було досліджено сили різання одиничного абразивного зерна та вплив кромок, які деформують деталь без зняття стружки під час шліфування.

*Ключові слова:* процес шліфування; 3D-модель різання; абразивне зерно; сили різання; орієнтація зерна.

*Рис.:* 12. *Бібл.:* 11.

**Актуальність теми дослідження.** У машинобудівній галузі широко застосовуються циліндричні деталі з високоточними поверхнями. Якість таких поверхонь визначається операціями шліфування.

У процесі виготовлення відповідальних деталей необхідно витримувати високі вимоги щодо якості, що висуваються до геометричних розмірів, шорсткості та фізико-механічного стану поверхневого шару. Разом з цим необхідно підвищувати і продуктивність обробки.

Процес шліфування є одним із фінішних операцій, що забезпечує необхідну якість, точність поверхні та її геометричні параметри.

**Постановка проблеми.** Процес шліфування являє собою складний нестационарний, теплонапружений процес. Складність дослідження цього процесу полягає не тільки в хаотичному розміщенні абразивних зерен шліфувального круга, а й у куті нахилу цього зерна відносно оброблюваної поверхні, радіуса заокруглення вершини ріжучої кромки, глибини врізання та ін. Всі вищезгадані фактори будуть впливати на величину та напрямок сил різання абразивного зерна під час шліфування. Крім цього, певна частина роботи буде витрачатися на пружне та пластичне деформування деталі, а не на знімання стружки. Дослідження даних сил різання дає можливість визначити продуктивність процесу шліфування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботі Л. Н. Філімонова [10] наведено результати різноманітних експериментальних досліджень процесу шліфування. Проте не було враховано вплив ріжучих кромок, які деформують деталь. Також у цій роботі сумарна нормальна сила різання визначається як добуток площі абразивного зерна на глибину подачі. У роботі [3] було розглянуто теоретичні основи моделювання алмазно-абразивних інструментів, параметри та класифікація методів формоутворення робочої

поверхні алмазно-абразивних інструментів, закони розподілу розмірів зерен. Також створена система 3D-моделювання алмазно-абразивного інструменту. Проте ці дослідження стосуються більше алмазного інструменту, ніж абразивного.

У роботі [7] були описані основи моделювання процесу різання, використовуючи метод скінченних елементів. Однак відсутні рекомендації щодо створення 3D-моделі процесу різання одиничним абразивним зерном під час шліфування.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відсутність дослідження впливу деформації деталі ріжучими кромками абразивного зерна на сили різання під час шліфування.

**Постановка завдання (мета статті).** Метою цієї статті є дослідження сил різання одиничного абразивного зерна та вплив кромки, які деформують деталь без зняття стружки під час шліфування.

**Виклад основного матеріалу.** На якість формоутворення поверхневого шару обробленої деталі впливає велика кількість фінішних операцій. Найбільш поширеною з цих операцій обробки є шліфування. Дослідженню процесів і явищ, які виникають під час шліфування, була присвячена велика кількість робіт [1; 3; 4; 8; 9; 11].

Перед початком процесу різання абразивними зернами, відбувається доволі довготривале ковзання ріжучої кромки в місці контакту. Це ковзання супроводжується пластичною деформацією металу. Інші ріжучі кромки в цей час виконують роботу тертя та пружної та пластичної деформації, що відбувається без зняття стружки. Для визначення моменту, коли закінчується пластична деформація і починається зняття стружки, є критерій, який являється відношенням глибини врізання до радіуса заокруглення вершини ріжучої кромки ( $a_z / \rho$ ).

Згідно з [6] робота кожної ріжучої кромки під час шліфування витрачається на пластичне і пружне деформування, тертя між абразивним зерном та матеріалом деталі й на подолання інерційних сил, що виникають під час утворення стружки. У роботі [10] зображено схему утворення стружки під час шліфування (рис. 1).

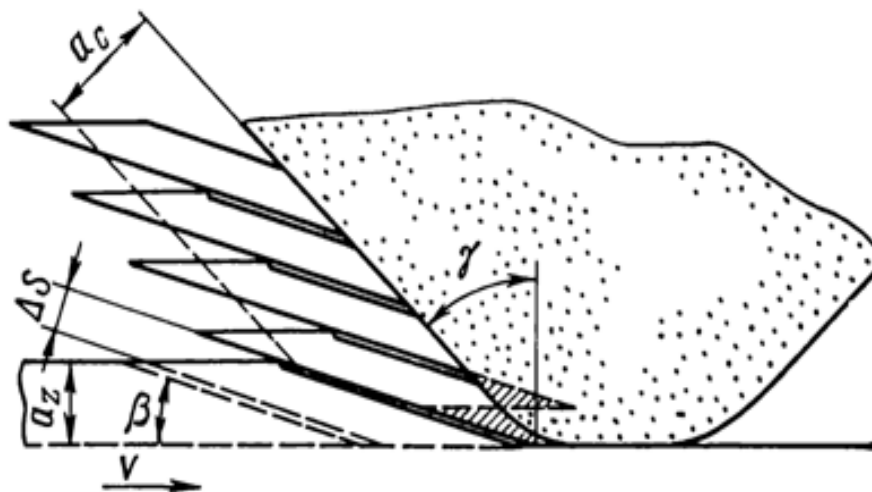


Рис. 1. Схема утворення стружки під час шліфування:

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

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

Також у роботі [10] було розглянуто, що при визначенні сили різання, яка діє на кожне абразивне зерно, зазвичай розглядають врівноважений стан її складових, враховуючи вплив кожної складової в процесі шліфування. Під час зняття стружки вершиною абразивного зерна діють сили стиснення і зсуву в площині зсуву, тертя й нормального

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тиску по задній поверхні ріжучої кромки та інерційна сила стружки. Ці складові сили різання зображені у вигляді кругових діаграм (рис. 2).

Нині найбільш поширеним методом дослідження різноманітних механічних обробок деталей є чисельне моделювання. Серед методів чисельних розрахунків найчастіше використовують метод скінченних елементів [5].

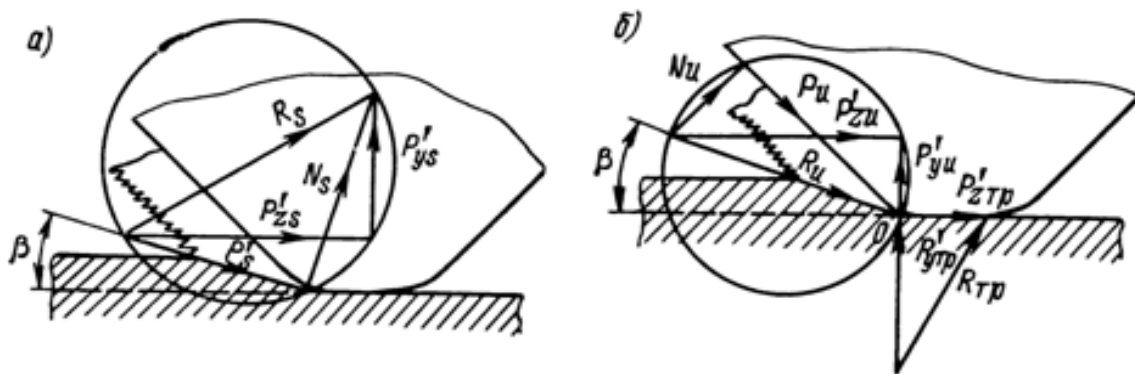


Рис. 2. Кругові діаграми сил зсуву (а), сил інерції та тертя (б), які діють при мікрорізанні одиничним абразивним зерном:

$P'_s$  – сила зсуву;  $P'_{zs}$  – тангенційна складова сили зсуву;  $P'_{ys}$  – радіальна складова сили зсуву;  
 $N_s$  – нормальна сила в площині зсуву;  $R_s$  – рівнодійна сили зсуву;  $R_{mp}$  – сила тертя;  $P'_{ymr}$  – нормальна складова сили тертя;  $P'_{zmp}$  – тангенційна складова сили тертя;  $P'_u$  – сила інерції;  $P'_{zu}$  – тангенційна складова сили інерції;  $P'_{yu}$  – радіальна складова сили інерції;  $R_u$  – рівнодійна сили інерції;  
 $N_u$  – нормальна складова сили інерції

Для створення 3D-моделі різання одиничним абразивним зерном (рис. 3, а), було застосовано комп'ютерне моделювання та результати досліджень, що наведені у роботі [7].

У роботі Л. Н. Філімонова [10] наведено зображення риски, яка утворена мікрорізанням заготовки зі сталі P18 (рис. 3, б).

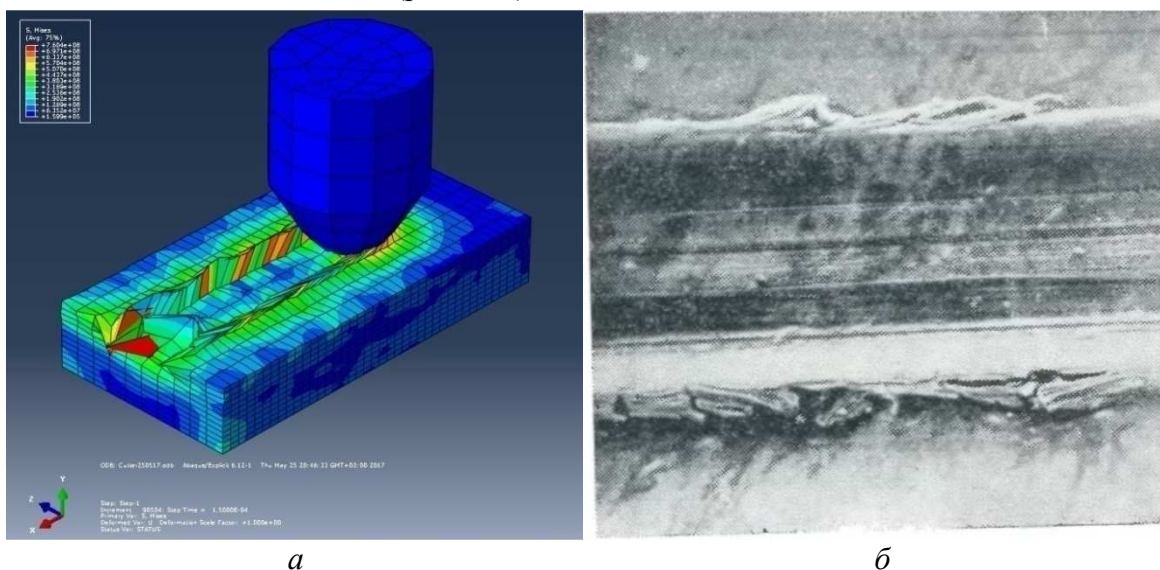


Рис. 3. Порівняння результатів експерименту процесу різання одиничним абразивним зерном та створеної 3D-моделі

У зазначеній роботі [10] проводилось експериментальне дослідження лише різальних зерен, які розташовувались перпендикулярно до оброблюваної поверхні й у яких корисна

робота витрачалась на знімання шару стружки. Згідно з роботою А. К. Байкалова [1], зазвичай існує три положення зерна відносно деталі: перпендикулярне, повздовжнє та поперечне (рис. 4–6). Робота тих зерен, що мають несприятливе розміщення у шліфувальному крузі, буде витрачатися на знос зерна, деформацію деталі та перетворення в теплову енергію.

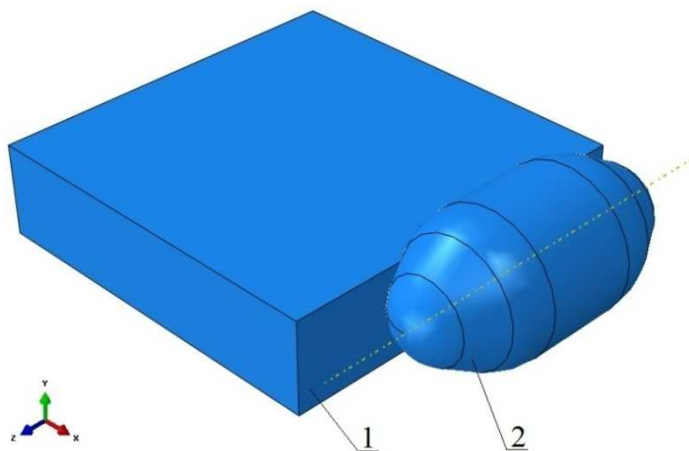


Рис. 4. Поперечне розміщення абразивного зерна відносно оброблюваної деталі:  
1 – оброблювана деталь; 2 – абразивне зерно

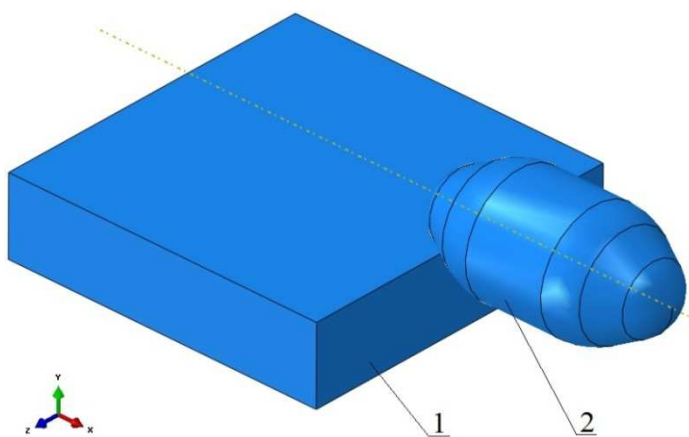


Рис. 5. Повздовжнє розміщення абразивного зерна відносно оброблюваної деталі:  
1 – оброблювана деталь; 2 – абразивне зерно

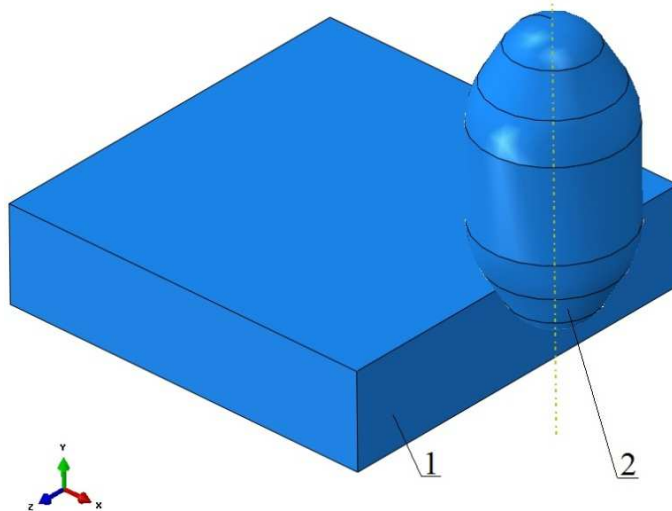


Рис. 6. Перпендикулярне розміщення абразивного зерна відносно оброблюваної деталі:  
1 – оброблювана деталь; 2 – абразивне зерно

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

При виробництві абразивних шліфувальних кругів вже існує певна кількість потенційно різальних зерен.

Процес шліфування є нестабільним у зв'язку зі зміною профілю шліфувального круга під час роботи. Згідно з роботою А. К. Байкалова [1], лише  $\frac{1}{3}$  від загальної кількості зерен, що розташовані у шліфувальному крузі, буде витратитися на різання деталі. Робота іншої частини зерен буде витратитися на пружну та пластичну деформації деталі, тертя та перетворення в теплову енергію.

Під час процесу шліфування відбувається різання деталі абразивними зернами. Після виходу цих зерен із місця контакту із заготовкою залишаються риси з боковими напливами (рис. 3). Якщо наступні зерна, які врізатимуться в деталь, будуть мати затуплені кромки, великі радіуси заокруглення та несприятливу орієнтацію відносно поверхні деталі, то буде відбуватися деформація деталі з можливим ущільненням поверхневого шару або незначне знімання матеріалу деталі з підвищенням температури. На рис. 7 зображена схема робочої поверхні шліфувального круга.

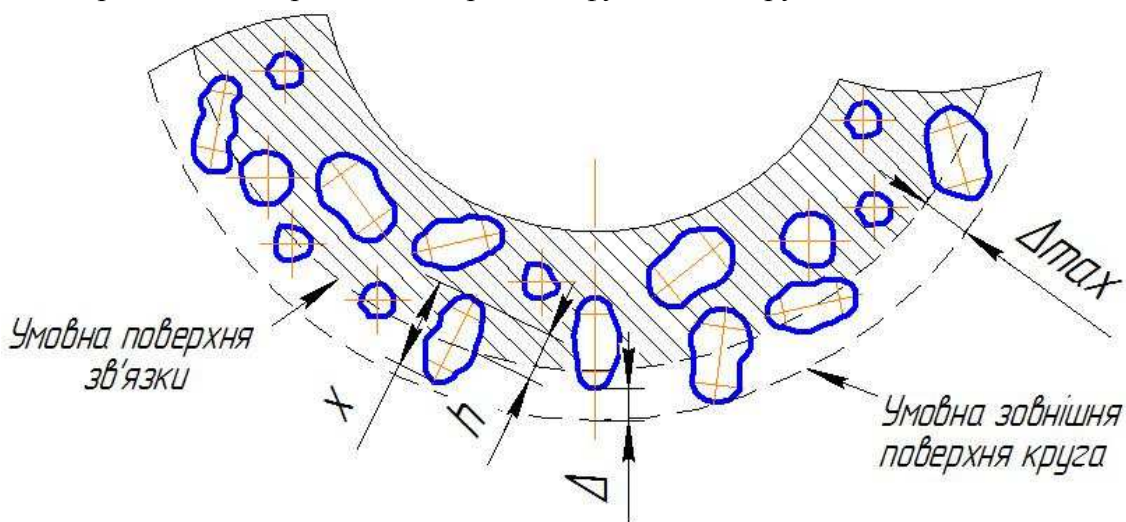


Рис. 7. Схематичне зображення робочої поверхні шліфувального круга:  
 $\Delta_{max}$  – зовнішня поверхня круга;  $\Delta$  – виліт зерна;  $h$  – глибина закріплення зерна;  $x$  – розмір зерна

На ті абразивні зерна, які контактують з деталлю під час шліфування, відбувається різноманітний силовий та тепловий впливи. Результатом такого впливу можуть бути: стирання вершин різальних кромки, викришування частинок абразивних зерен, виривання абразивних зерен зі зв'язки. На рис. 8 схематично зображено поверхню шліфувального круга після певного часу шліфування.

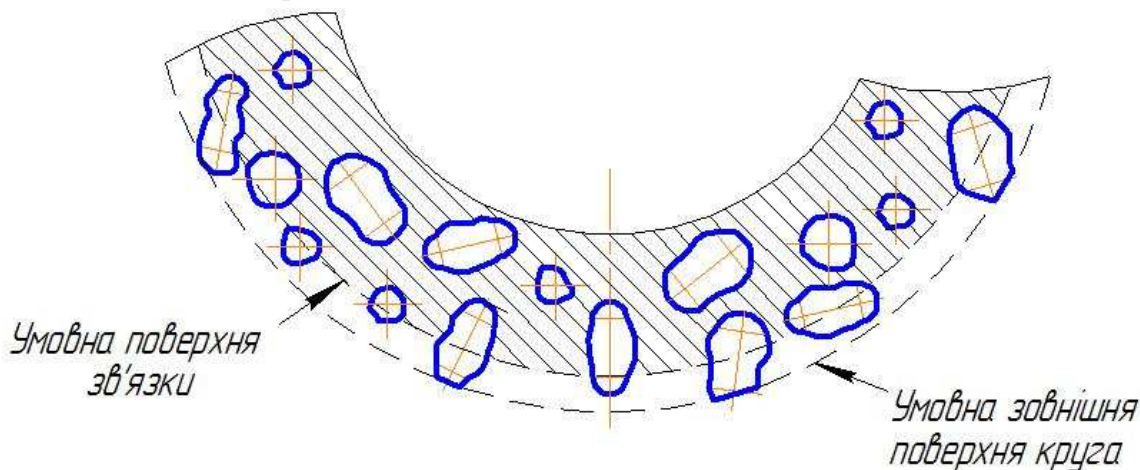


Рис. 8. Поверхня шліфувального круга після певного часу шліфування

Під час шліфування на абразивні зерна круга також може наліплюватися метал від оброблюваної деталі. Вищезгадані явища погіршують різальні властивості круга та призводять до збільшення сили різання й температури шліфування та в кінцевому результаті до погіршення якості та точності обробки.

Для відновлення різальних властивостей круга його необхідно правити або проводити процес шліфування в режимі самозагострювання. Це дозволить зняти дефектний шар із круга, сприятиме появі нових гострих різальних кромки та нових абразивних зерен. Крім цього, правка також відновлює геометричну форму круга.

Під час роботи шліфувального круга в режимі самозатуплення відбувається затуплення тих абразивних зерен, які мають максимальний виліт, проте не відбувається виривання цих зерен зі зв'язки. Радіус заокруглення зерен починає збільшуватись і буде відбуватись лише деформування деталі без різання. Це, у свою чергу, призводить до виникнення підвищених вібрацій та шуму. Величина амплітуди коливання вимірюється датчиком абсолютного коливання, а шум – віброакустичним методом. Якщо вчасно не виявити цей процес, то зерна з великими радіусами заокруглення будуть вдарятись об деталь та викликати прижоги. Якщо вчасно не провести правку круга, то поверхневий шар деталі буде мати дефекти, які у свою чергу негативно впливають на якість та точність деталі. Здебільшого правка круга проводиться за допомогою алмазного олівця.

Після правки круга на його поверхні з'являються нові різальні зерна. У перші секунди роботи круга після правки, ті зерна, які мають малий заділ у зв'язці, вириваються й у роботу вступають нові різальні зерна.

Робота круга в режимі самозагострювання характеризується тим, що у різальних зернах буде зменшуватись заділ у зв'язці, і вони будуть вириватись. Після виривання цих зерен та викришування певної кількості зв'язки, на профілі круга з'являються нові різальні зерна. Такий режим роботи є самовідновлювальним.

На рис. 9 зображено поверхню шліфувального круга після правки.

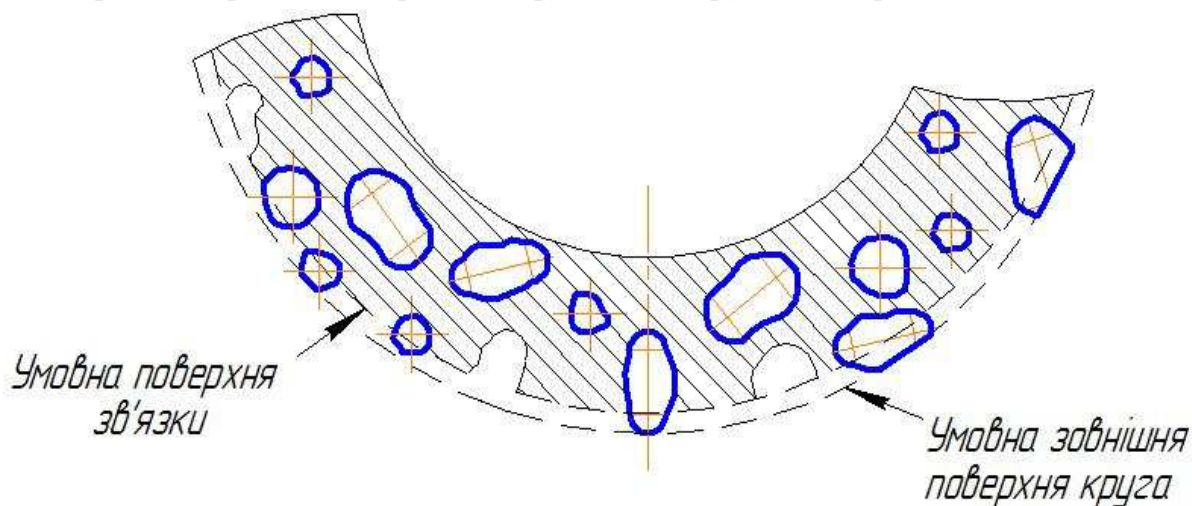


Рис. 9. Поверхня шліфувального круга після правки

У роботах [2; 6] було визначено силу різання у відповідних точках абразивного зерна. Сумарні сили різання від різальних та деформуючих кромки, які перенесені на профіль абразивного зерна, зображені на рис. 10. Переріз абразивного зерна, в якому визначались сили різання та проекція сил різання від різальних та деформуючих кромки вздовж відповідного перерізу абразивного зерна, зображені на рис. 11 та 12.



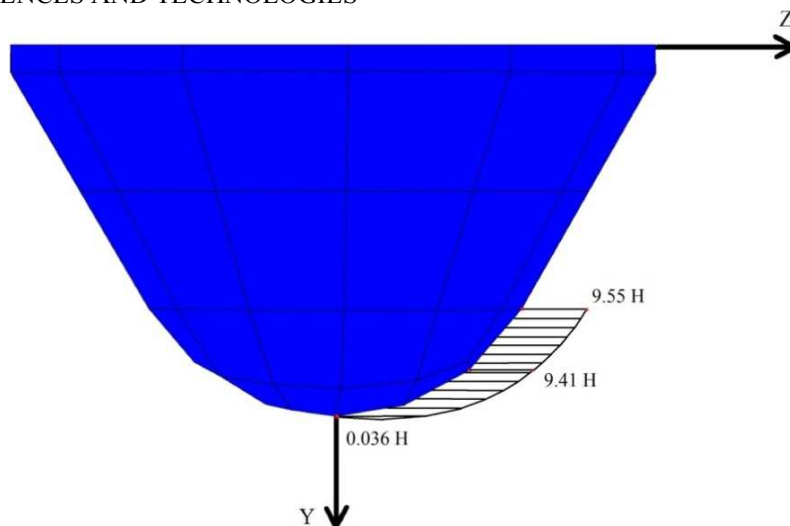


Рис. 10. Сумарні сили різання від різальних та деформуючих кромek вздовж профілю абразивного зерна

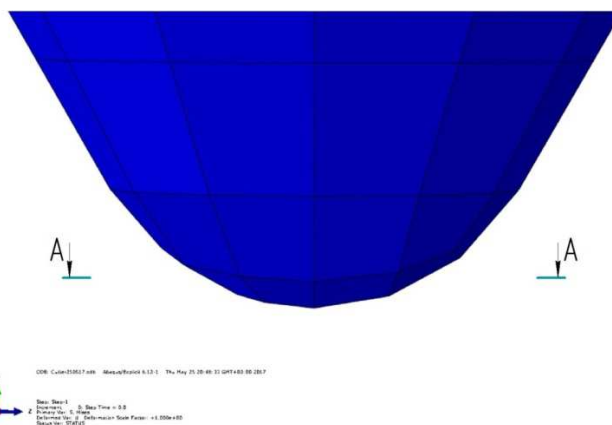


Рис. 11. Переріз абразивного зерна, в якому визначались сили різання (вид спереду)

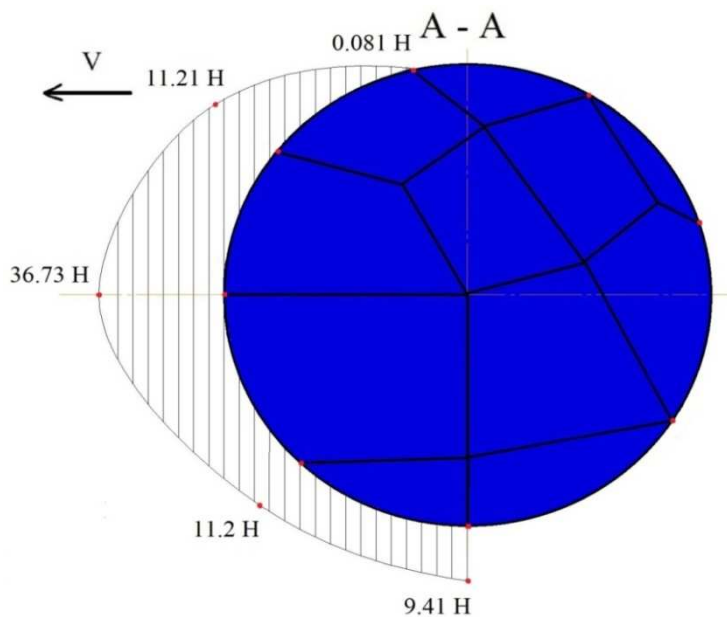


Рис. 12. Проекція сил різання від різальних та деформуючих кромek вздовж відповідного перерізу абразивного зерна

Залежно від етапу різання круга в деталь, різальні кромки абразивного зерна будуть виконувати як роботу пластичного і пружного деформування, так і роботу різання. Вся корисна робота різального зерна буде витратитися не тільки на зрізання шару металу, а й на утворення бокових напливів. Після різання одним абразивним зерном ці напливи будуть новим припуском для наступних зерен, які врізаються в деталь.

**Висновки відповідно до статті.** Уперше, використовуючи 3D-модель процесу шліфування, було досліджено сили різання одиничного абразивного зерна та вплив кромок, які деформують деталь без зняття стружки під час шліфування. Визначено, що максимальна сила різання буде в точках, які перші починають врізатися в деталь та збігаються з віссю напрямку руху зерна, а з боків цього зерна буде відбуватися лише деформування деталі. Також встановлено, що мінімальна величина сили різання буде в точці, що відповідає вершині абразивного зерна. Ця точка виконує роботу тертя та деформування без різання.

#### Список використаних джерел

1. Байкалов А. К. Введение в теорию шлифования материалов / А. К. Байкалов. – К. : Наукова думка, 1978. – 207 с.
2. Визначення сумарної сили різання одиничним абразивним зерном при шліфуванні зі схрещеними осями круга та деталі / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, Я. В. Кужельний, Д. В. Кальченко // Сучасні технології в машинобудуванні. – 2017. – № 12. – С. 20–30.
3. Грабченко А. И. 3D моделирование алмазно-абразивных инструментов и процессов шлифования : учебное пособие / А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Федорович. – Х. : НТУ «ХПИ», 2006. – 364 с.
4. Грабченко А. И. Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Чернигов : ЧДТУ, 2009. – 256 с.
5. Дубенець В. Г. Основи методу скінченних елементів : навчальний посібник / В. Г. Дубенець, В. В. Хільчевський, О. В. Савченко. – Чернігів : ЧДТУ, 2007. – 348 с.
6. Кальченко В. Моделювання процесу різання одиничним абразивним зерном при круглому глибинному шліфуванні / В. Кальченко, О. Деркач, Я. Кужельний // Технічні науки та технології. – 2017. – № 2 (8). – С. 29–39.
7. Криворучко Д. В. Моделирование процессов резания методом конечных элементов: методологические основы : монография / Д. В. Криворучко, В. А. Залого. – Сумы : Университетская книга, 2012. – 496 с.
8. Основы теории резания материалов : учебник / Н. П. Мазур, Ю. Н. Внуков, А. И. Грабченко, В. Л. Доброскок, В. А. Залого, Ю. К. Новоселов, Ф. Я. Якубов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Х. : НТУ «ХПИ», 2013. – 534 с.
9. Резников А. Н. Абразивная и алмазная обработка материалов : справочник / А. Н. Резников. – М. : Машиностроение, 1977. – 391 с. : ил.
10. Филимонов Л. Н. Высокоскоростное шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1979. – 248 с. : ил.
11. Якимов А. В. Оптимизация процесса шлифования / А. В. Якимов. – М. : Машиностроение, 1975. – 175 с.

#### References

1. Baikalov, A. K. (1978). *Vvedenie v teoriyu shlifovaniia materialov [Introduction to the theory of grinding materials]*. Kyiv: Naukova dumka [in Russian].
2. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Kuzhelnyi, Ya. V., Kalchenko, D. V. (2017). Vyznachennia sumarnoi syly rizannia odynychnym abrazyvnyym zernom pry shlifuvanni zi skhreshchenymy osiamy kruha ta detail [Determination of the total force of cutting by a single abrasive grain when grinding with crossed axes of a circle and a part]. *Suchasni tekhnolohii v mashynobuduvanni – Modern technology in mechanical engineering*, 12, 20–30 [in Ukrainian].
3. Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., Fedorovych V. A. (2006). *3D-modelirovanie almazno-abrazivnykh instrumentov i protsessov shlifovaniia [3D-modeling of diamond-abrasive tools and grinding processes]*. Kharkiv: NTU «KhPI» [in Russian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I. & Kalchenko, V. V. (2009). *Shlifovanie so skreshhivaiushchimisia osiami instrumenta i detail [Grinding with crossed axes of tool and workpiece]*. Chernihiv: ChDTU [in Russian].
5. Dubenets, V. H., Khilchevskiy, V. V., Savchenko, O. V. (2007). *Osnovy metodu skinchennykh elementiv [Fundamentals of finite element method]*. Chernihiv: ChDTU [in Ukrainian].
6. Kalchenko, V. I., Derkach, O. L., Kuzhelnyi, Ya. V. (2017). Modeliuvannia protsesu rizannia odynychnym abrazivnym zernom pry kruhlomu hlybynnomu shlifuvanni [Simulation of the cutting process by single abrasive grain at round deep grinding]. *Tekhnichni nauky ta tekhnologii – Technical sciences and technologies*, 2(8), 29–39 [in Ukrainian].
7. Kryvoruchko, D. V., Zaloha, V. A. (2012). *Modelirovanie protsessov rezaniia metodom konechnykh elementov: metodologicheskie osnovy [Simulation of the cutting process using finite element method: methodological bases]*. Sumy: Universitetskaia kniga [in Russian].
8. Mazur, N. P., Vnukov, Iu. N., Grabchenko, A. I., Dobroskok, V. L., Zaloga, V. A., Novoselov, Iu. K. & Jakubov, F. Ia. (2013). *Osnovy teorii rezaniia materialov: [Fundamentals of the theory of cutting materials]*. Kharkiv: NTU «KhPI» [in Ukrainian].
9. Reznikov, A. N. (1977). *Abrazivnaia i almaznaia obrabotka materialov: spravochnik [Abrasive and diamond processing of materials. Directory]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
10. Filimonov, L. N. (1979). *Vusokoskorostnoe shlifovanie [High-speed grinding]*. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].
11. Iakimov, A. V. (1975). *Optimizatsiia protsesa shlifovaniia [Optimization of the grinding process]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

UDC 621.923.42

Vitalii Kalchenko, Volodymyr Kalchenko, Nataliia Sira, Yaroslav Kuzhelnyi

**RESEARCH OF THE CUTTING FORCES OF A SINGLE ABRASIVE GRAIN WHEN GRINDING WITH CROSSED AXES OF A CIRCLE AND A PART**

**Urgency of the research.** The grinding process is an important factor that affects the process of forming the surface layer of the detail.

**Target setting.** During the grinding, the various factors associated with the abrasive tool are influenced by the final result of the treatment. These factors influence the size and direction of the cutting forces of abrasive grain. Researching the cutting forces of this grain, it is possible to determine the productivity of the grinding process.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In scientific works the results of various experimental research of the grinding process are presented. However, the effect of cutting edges that deformed the part was not taken into account. The paper deals with the theoretical foundations of diamond - abrasive tools modeling and lack of detailed research related to the abrasive tool.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The absence of a research of the effect of the deformation of the parts by the cutting edges of the abrasive grain on the cutting forces during the grinding.

**The research objective.** The purpose of this article is to research the cutting forces single abrasive grains and the effect of edges that deform the part without removing the chips when grinding.

**The statement of basic materials.** Before the cutting process begins with abrasive grains, there is a long slip of the cutting edge at the place of contact. This slip is accompanied by plastic deformation of the metal. Other cutting edges, at this time, carry out the work of friction and elastic and plastic deformation, which occurs without the removal of chips. To determine the moment when the plastic deformation ends and the shaving is started, there is a criterion that is the ratio of the cutting depth to the radius of rounding the vertex of the cutting edge.

**Conclusions.** For the first time, using the 3D model of the grinding process, the cutting forces single abrasive grains and the effect of edges that deform the part without removing the chips when grinding were researched.

**Keywords:** grinding process; 3D model of cutting; abrasive grain; cutting forces; orientation of the grain.

Fig.: 12. References: 11.

УДК 621.923.42

Виталий Кальченко, Владимир Кальченко, Наталия Серая, Ярослав Кужельный

**ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ РЕЗАНИЯ ЕДИНИЧНОГО АБРАЗИВНОГО ЗЕРНА ПРИ ШЛИФОВАНИИ СО СКРЕЩЁННЫМИ ОСЯМИ КРУГА И ДЕТАЛИ**

**Актуальность темы исследования.** Процесс шлифования является важным фактором, влияющим на процесс формообразования поверхностного слоя детали.

**Постановка проблемы.** Во время шлифования на конечный результат обработки влияют различные факторы, связанные с абразивным инструментом. Данные факторы влияют на величину и направление действия сил резания абразивного зерна. Исследуя силы резания данного зерна, можно определить производительность процесса шлифования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В научных работах приведены результаты различных экспериментальных исследований процесса шлифования. Однако не было учтено влияние режущих кромок, которые деформируют деталь. Опубликованные работы, в которых рассмотрены теоретические основы моделирования алмазно-абразивных инструментов и отсутствуют детальные исследования, связанные с абразивным инструментом.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Отсутствие исследования влияния деформации детали режущими крошками абразивного зерна на силы резания при шлифовании.

**Постановка задачи.** Целью данной статьи является исследование сил резания единичного абразивного зерна и влияние кромок, деформирующих деталь без снятия стружки при шлифовании.

**Изложение основного материала.** Перед началом процесса резания абразивными зернами, происходит длительное скольжение режущей крошки в месте контакта. Это скольжение сопровождается пластической деформацией металла. Другие режущие крошки в это время выполняют работу трения и упругой и пластической деформации, которая происходит без снятия стружки. Для определения момента, когда заканчивается пластическая деформация и начинается снятия стружки, существует критерий, который является отношением глубины врезания к радиусу закругления вершины режущей крошки.

**Выводы в соответствии со статьёй.** Впервые, используя 3D-модель процесса шлифования, были исследованы силы резания единичного абразивного зерна и влияние кромок, деформирующих деталь без снятия стружки при шлифовании.

**Ключевые слова:** процесс шлифования; 3D-модель резания; абразивное зерно; силы резания; ориентация зерна.

Рис.: 12. Библ.: 11.

**Кальченко Віталій Іванович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Кальченко Виталий Иванович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kalchenko Vitalii** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** G-9477-2014

**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 for Scientific-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

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

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

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

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3248-0593>

**ResearcherID:** K-2658-2017

**Кужельний Ярослав Володимирович** – аспірант кафедри автомобільного транспорту та галузевого машинобудування, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Кужельный Ярослав Владимирович** – аспирант кафедры автомобильного транспорта и отраслевого машиностроения, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Kuzhelnyi Yaroslav** – PhD student of the Department of Automobile Transport and Sectoral Machine Building, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** J-1127-2016

Владимир Венжега, Андрей Рудик, Геннадий Пасов

## ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ ТОРЦОВ ВИНТОВЫХ ПРУЖИН СЖАТИЯ

**Актуальность темы исследования.** Обеспечение высокого качества и производительности обработки торцевых поверхностей пружин сжатия требует разработки новых методов и способов обработки.

**Постановка проблемы.** Многие современные машины и механизмы содержат пружины сжатия. Их работоспособность и технический ресурс зависят от стабильности упругих характеристик пружин во времени, что обеспечивается финишными операциями обработки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Известен способ обработки торцов пружин при небольшом объеме производства на абразивно-заточных станках в две установки, при этом торцы прижимаются к цилиндрической поверхности шлифовального круга. В крупносерийном и массовом производстве торцы пружин целесообразно шлифовать на специальных станках торцом или периферией шлифовального круга. В качестве метода окончательной обработки используется также одностороннее шлифование абразивной лентой.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Применяемые способы шлифования торцов винтовых пружин сжатия не могут обеспечить в полном объеме требования к точности и качеству поверхностного слоя при высокой производительности.

**Постановка задачи.** Разработка способа окончательной обработки торцов пружин шлифованием, обеспечивающего высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя.

**Изложение основного материала.** Окончательную обработку торцов пружин предлагается производить на двухсторонних торцешлифовальных станках с горизонтальной компоновкой шпиндельных узлов, за один проход, одновременно с двух сторон, применяя специально профилированные абразивные круги, которые состоят из двух участков: для снятия основного припуска и калибрующего, на котором формируется окончательная точность и шероховатость поверхности. Профилированные круги должны быть ориентированы относительно торцевых поверхностей заготовок.

**Выводы в соответствии со статьей.** В работе предложен способ окончательной обработки торцов пружин шлифованием, обеспечивающий высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя, что способствует повышению надежности работы устройств, содержащих пружины. Отклонение от плоскостности торцевой поверхности пружины диаметром 26 мм составляет 1,5 мкм, а отклонение от перпендикулярности торца оси 2 мкм. Температура при шлифовании не превышает критических точек, поэтому в поверхностном слое не происходят структурные и фазовые изменения.

**Ключевые слова:** винтовые пружины сжатия; двухстороннее шлифование; ориентированные круги; физико-механические свойства поверхностного слоя; точность обработки; производительность обработки.

Рис.: 3. Библ.: 6.

**Постановка проблемы.** Работоспособность и стабильные характеристики многих механизмов, содержащих пружины, во многом лимитируются ресурсом их работы. Поэтому одним из основных путей решения проблемы повышения надежности и долговечности является применение таких технологических методов обработки, которые обеспечивают высокие эксплуатационные свойства ответственных пружин.

Практика показывает, что во многих случаях пружины, изготовленные по принятой технологии и из качественной проволоки, выдержавшей установленные испытания, в условиях эксплуатации преждевременно теряют упругие свойства или быстро разрушаются, особенно пружины, работающие в динамических условиях. Это свидетельствует о наличии недостатков в технологиях производства пружин и о необходимости разработки способов повышения их несущей способности и постоянства упругих свойств во времени. Существенное влияние на усталостную прочность пружин оказывает качество поверхностного слоя проволоки. Поломки пружин вследствие усталости или потеря рабочих характеристик из-за релаксации напряжений приводят к выходу из строя узлов или всей машины в целом.

Большое влияние на формирование качества поверхностного слоя детали и, в связи с этим, на их эксплуатационные свойства, оказывает технология производства, а в особенности операции окончательной обработки.

**Анализ исследований и публикаций.** Разрушение пружины от усталости происходит вследствие многократного изменения напряжений и связано с местными пластическими деформациями в отдельных слабых микрообъемах (зернах). При высоких напряжениях и большом числе их повторений на поверхности пружины возникает тре-

щина, распространяющаяся по сечению витка и приводящая к поломке пружин. Создание вблизи поверхности остаточных сжимающих напряжений позволяет увеличивать предельные амплитуды напряжений в поверхностном слое пружины без риска ее преждевременного разрушения. Изменяя остаточные напряжения сжатия и глубину упрочнения, можно получить различное распределение пределов выносливости с повышением их вблизи поверхности. Большое влияние на прочность пружин в целом оказывает качество внутреннего слоя (сердцевины), поэтому наряду с упрочнением поверхностного слоя необходимо стремиться к высоким прочностным свойствам исходного материала; он должен быть правильно выбран и правильно термически обработан [1].

Ю. И. Иванов и Н. В. Носов на основе результатов обработки экспериментальных данных [2] предложили эмпирическую зависимость предела выносливости от параметров качества поверхностного слоя:

$$\sigma_{-1} = \sigma(1 + \varepsilon_1) - \varepsilon_2 R_a - \varepsilon_3 \sigma_1,$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  – коэффициенты, учитывающие наклеп, шероховатость и остаточные напряжения в поверхностном слое.

Из формулы видно, что можно повысить предел выносливости детали. Если после окончательной механической обработки в поверхностных слоях формируются остаточные напряжения сжатия, то последний член в формуле имеет знак плюс и, следовательно,  $\sigma_{-1}$  будет повышаться. Кроме этого,  $\sigma_{-1}$  зависит также от глубины поверхностного упрочнения, если  $\varepsilon_1$  положительный, это увеличивает предел выносливости. Снижение шероховатости  $R_a$  всегда будет сопровождаться увеличением предела выносливости деталей.

Авторы [3] в качестве метода окончательной обработки пружин предлагают ленточное шлифование с вращением ленты вокруг детали. Устройство разработано на основе схемы одностороннего шлифования свободной ветвью абразивной ленты с вращением ленты вокруг детали. Основным недостатком предложенного метода является низкая производительность обработки.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Роль абразивного шлифования среди процессов механической обработки постоянно возрастает в связи с появлением новых и совершенствованием существующих способов, которые отличаются от методов лезвийной обработки более высокой точностью и производительностью [4].

Наиболее важными и труднодостижимыми параметрами является точность размеров, формы, взаимного расположения поверхностей детали, сохранение физико-механических свойств поверхностного слоя.

Сложной научной и производственной задачей является повышение эффективности шлифования торцов деталей. Известны результаты исследований, где авторы совместно работали над решением проблемы повышения точности и производительности обработки торцов деталей на двусторонних торцешлифовальных станках. В данной работе эти результаты дополнено.

**Целью статьи** является разработка метода окончательной обработки пружин шлифованием, обеспечивающего высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя.

**Изложение основного материала.** Формирование качества поверхностного слоя деталей в основном осуществляется на заключительных операциях технологического процесса их получения [5; 6].

Процессы шлифования характеризуются высокой теплонпряженностью процесса и большими удельными давлениями в зоне резания. Значительные изменения температуры и давления в зоне резания, в свою очередь, вызывают изменение структуры, фазового состо-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

яния и, на их основе, изменение физико-механических свойств поверхностных слоев металла. Наклеп, структурные и фазовые превращения формируют в поверхностных слоях деталей остаточные напряжения. Численное значение и знак напряжений зависят от значения и знака исходных остаточных напряжений, полученных деталью на предшествующих операциях, а также от степени силового и теплового воздействия текущей операции.

Окончательную обработку пружин предлагается производить на двусторонних торцешлифовальных станках с горизонтальной компоновкой шпиндельных узлов, за один проход, одновременно с двух сторон, применяя специально профилированные абразивные круги. Станки, как правило, состоят из литой чугунной станины, на которой крепятся две шлифовальные бабки с независимыми электроприводами, механизма подачи изделий в зону обработки и механизма правки шлифовальных кругов. Кроме этих узлов, имеются вспомогательные приборы и устройства: устройство поворота шлифовальных бабок в вертикальной и горизонтальной плоскостях, система подачи СОЖ, устройство компенсации износа шлифовального круга и другие.

Для повышения эффективности шлифования, снижения теплового воздействия, необходима профильная правка круга. Наиболее рациональным является предлагаемый комбинированный способ правки, представленный на рис. 1.

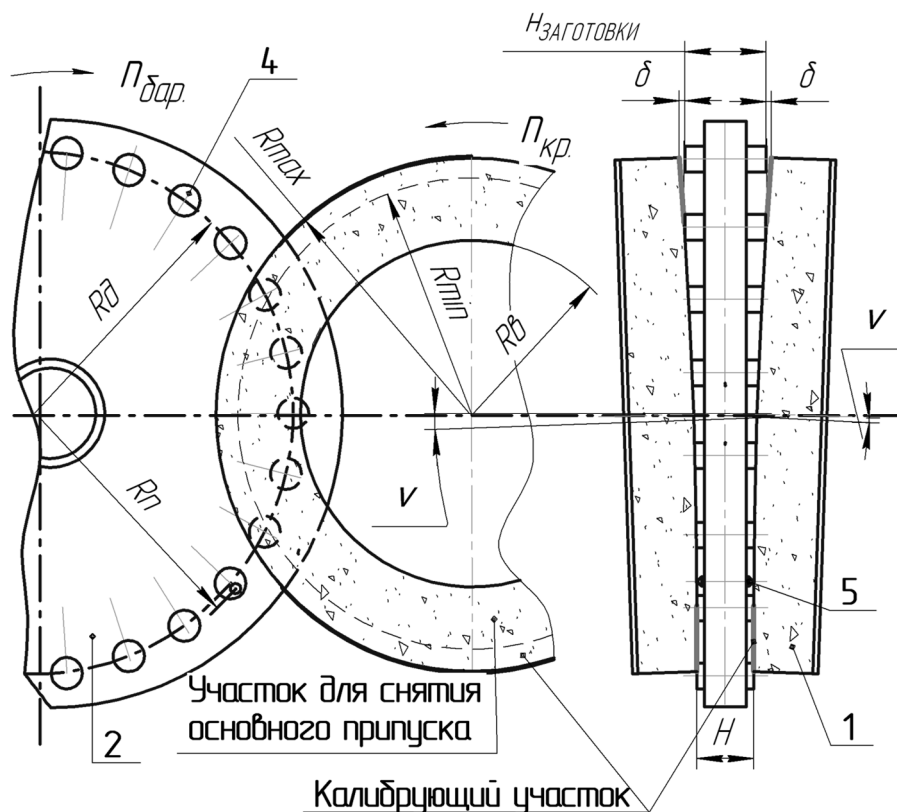


Рис. 1. Комбинированный способ правки

Круги 1 ориентируют в горизонтальной плоскости на угол  $\gamma$  и в вертикальной – на угол  $\nu$  с целью снятия припуска за один проход. Вначале вся торцевая поверхность круга правится в плоскости, перпендикулярной оси вращения круга. После этого алмазными карандашами 5, закрепленными на барабানে подачи 2, правят участки, прилегающие к наружным диаметрам кругов. При этом величина радиуса правки  $R_n$ , по которому перемещается вершина алмазного карандаша при правке, выбирается в зависимости от формы обрабатываемой детали 4 и ее ориентации в процессе шлифования.

В рабочем цикле шлифования комбинированная правка дает возможность распределить снимаемый припуск  $\delta$  между черновым и чистовым участками, увеличить рабочую длину  $L$  дуги контакта деталей с кругом, что повышает производительность обработки, снизить температуру в зоне обработки. Высокая точность формы торца детали обеспечивается на формообразующем участке 3, прилегающем к наружному диаметру круга, при выходе из зоны обработки. При этом формообразующий участок 1 не принимает участие в съеме припуска при входе в зону шлифования и имеет высокую стойкость.

Действительные значения отклонений от плоскостности и перпендикулярности, замерянные прибором TALYROUND, при обработке цилиндрических пружин демпферов муфты сцепления автомобилей «ГАЗ-53» (окончательный размер  $26^{+0,35}_{-0,15}$  мм) на двустороннем торцешлифовальном станке 3342АДО кругами I-450×305×63-25A40СТ1Б8 с длиной калибрующего участка 20 мм, соотношением углов ориентации  $\gamma = 1,57$  v, вращением заготовок, приведены на осциллограмме (рис. 2).

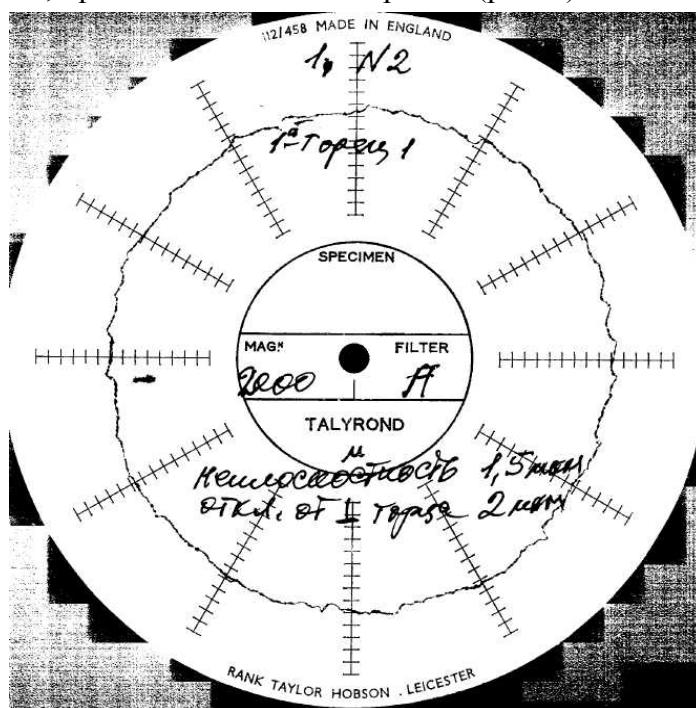


Рис. 2. Осциллограмма отклонения от перпендикулярности и плоскостности торцевой поверхности

Для определения температуры на торцах заготовки была использована искусственная термопара хромель-капель. Спай термопар фиксировался на торцах заготовки. На рис. 3 приведены осциллограммы изменения температуры по координате обработки.

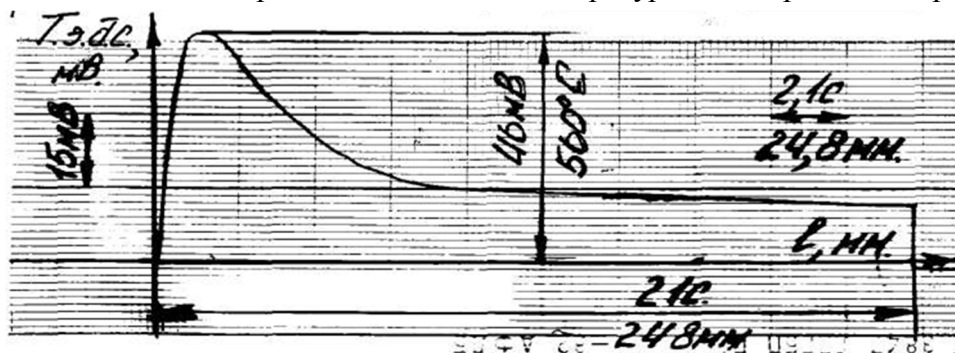


Рис. 3. Осциллограммы температуры по координате обработки



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Из проведенных исследований следует, что при шлифовании предложенным методом температура на калибрующем участке не превышает критических точек и в металле не происходят структурные и фазовые изменения.

**Выводы в соответствии со статьей.** В работе предложен метод окончательной обработки торцов пружин шлифованием, обеспечивающий высокую точность и производительность без изменения физико-механических свойств поверхностного слоя, что способствует повышению надежности работы устройств, содержащих пружины.

**Список использованных источников**

1. *Остроумов В. П.* Производство винтовых цилиндрических пружин / В. П. Остроумов. – М. : Машиностроение, 1970. – 169 с.
2. *Иванов Ю. И.* Эффективность и качество обработки инструментами на гибкой основе / Ю. И. Иванов, Н. В. Носов. – М. : Машиностроение, 1985. – 88 с. : ил.
3. *Шиляев С. А.* Технологические методы повышения качества пружин, применяемых в автотранспорте / С. А. Шиляев, С. Р. Аллаяров, Т. Р. Меджитов // Сборник научных трудов Ижевского государственного технического университета. – 2010. – № 43. – С. 75–83.
4. *Кальченко В. В.* Повышение эффективности двустороннего шлифования торцов цилиндрических деталей ориентированными абразивными кругами : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической обработки. станки и инструменты» / В. В. Кальченко ; НТУ «ХПИ». – Х., 1998. – 203 с.
5. *Венжега В. И.* Повышение эффективности шлифования торцов со скрещивающимися осями детали и круга с калибрующим участком : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 «Процессы механической обработки. станки и инструменты» / В. И. Венжега ; НТУ «ХПИ». – Х., 2009. – 214 с.
6. *Рудик А. В.* Експериментальні дослідження точності формоутворення торців / А. В. Рудик, В. І. Венжега, В. А. Рудик // Вісник Чернігівського державного технологічного університету : зб. – 2013. – Вип. 2 (65). – С. 76–80.

**References**

1. Ostroumov, V. P. (1970). *Proizvodstvo vintovykh tsilindricheskikh pruzhin [Production of coil springs]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
2. Ivanov, Yu. I. & Nosov, N. V. (1985). *Effektivnost i kachestvo obrabotki instrumentami na gibkoi osnove [Efficiency and quality of processing using the tools on a foil bearing]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
3. Shilyaev, S. A., Allayarov, S. R. & Medzhitov, T. R. *Tekhnologicheskie metody povysheniya kachestva pruzhin, primenyaemyh v avtotransporte [Technological methods for improving the quality of springs used in motor vehicles]*. *Sbornik nauchnyh trudov Izhevskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Collection of scientific works of Izhevsk State University of Technology*, 43, 75–83 [in Russian].
4. Kalchenko, V. V. (1998). *Povyshenie effektivnosti dvustoronnego shlifovaniia tortcev tsilindricheskikh detalei orientirovannymi abrazivnymi krugami [Increasing of the efficiency of bilateral grinding of the butt ends of cylindrical workpieces by oriented abrasive wheels]*. (Candidate's thesis). National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv [in Russian].
5. Venzhega, V. I. (2009). *Povyshenie effektivnosti shlifovaniia tortcov so skreshchivaiushchimisia osiami detali i kruga s kalibriuiushchim uchastkom [Improving of the efficiency of grinding of the butt ends with the crossed axes of the workpiece and the circle with the calibrating section]*. (Candidate's thesis). National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv [in Russian].
6. Rudyk, A. V., Venzhega, V. I., Rudyk, V. A. *Eksperymentalni doslidzhennia tochnosti formo-utvorennia tortsiv [Experimental studies of the accuracy of shaping]*. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Visnyk of Chernihiv State Technological University*, 2 (65), 76–80 [in Ukrainian].

UDC 621.923.042

Vladimir Venzhega, Andrei Rudik, Gennady Pasov  
**INCREASE OF QUALITY OF PROCESSING  
 OF SCREWS OF SCREW SPRINGS**

**Urgency of the research.** Providing high quality and productivity of the processing of end faces of the compression springs requires development of new processing methods.

**Target setting.** A lot of modern machines and mechanisms contain compression springs. Their performance and technical resource depend on the stability of the spring rates, which, in its turn, depends on the final processing operations.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A method of processing of the spring ends at a small output on abrasive grinding machines in two units is known. During the processing, the ends are pressed against the cylindrical surface of the grinding wheel. In large-scale and mass production, the spring ends are advisable to grind on special machines with the butt end or the grinding wheel face. One-sided grinding with an abrasive belt is also used as one of the final machining methods.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The methods that are currently used for grinding the ends of helical compression springs cannot fully satisfy the requirements for the accuracy and quality of the surface layer at high productivity.

**The research objective.** Development of the method of final machining of the spring butt ends with grinding that provides high accuracy and performance without changing physical and mechanical properties of the surface layer.

**The statement of basic materials.** The final machining of the spring butt ends should take place on the double-end face-grinding machines with horizontal structural configuration of the spindle apparatuses in one run, both sides simultaneously. Shaped abrasive wheels consisting of two areas are to be used: One of the areas is for removal of the main allowance and the other is for removal of the finishing allowance on which final accuracy as well as surface roughness are formed. Shaped wheels have to be rotated taking into account the end surfaces of the work pieces. The deviation from the flatness of the spring's end surface with a diameter of 26 mm is 1.5  $\mu\text{m}$ , and the deviation from the perpendicularity of the butt end of the axis is 2  $\mu\text{m}$ . The grinding temperature does not exceed the critical points, which is why structural and phase changes do not occur in the surface layer.

**Conclusion.** The method of final machining of the spring butt ends with grinding is introduced. This method provides high accuracy and performance without changing physical and mechanical properties of the surface layer, which contributes to the increasing of the reliability of devices that contain springs.

**Keywords:** helical compression springs; double grinding; physical and mechanical properties of the surface layer; processing accuracy; processing per.

Fig.: 3. References: 6.

УДК 621.923.042

Володимир Венжега, Андрій Рудик, Геннадій Пасов  
**ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ОБРОБКИ ТОРЦІВ  
 ГВИНТОВИХ ПРУЖИН СТИСКУ**

**Актуальність теми дослідження.** Забезпечення високої якості та продуктивності обробки торцевих поверхонь пружин стиснення вимагає розробки нових методів і способів обробки.

**Постановка проблеми.** Багато сучасних машин і механізмів містять пружини стиску. Їхня працездатність і технічний ресурс залежать від стабільності пружних характеристик пружин у часі, що забезпечується фінішними операціями обробки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Відомий спосіб обробки торців пружин при невеликому обсязі виробництва на абразивно-заточувальних верстатах за дві установки, при цьому торці притискаються до циліндричної поверхні шліфувального круга. У серійному й масовому виробництві торці пружин доцільно шліфувати на спеціальних верстатах торцем або периферією шліфувального круга. Як метод остаточної обробки використовується також одностороннє шліфування абразивною стрічкою.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Застосовувані способи шліфування торців гвинтових пружин стиску не можуть забезпечити в повному обсязі вимоги до точності і якості поверхневого шару при високій продуктивності.

**Постановка завдання.** Розробка способу остаточної обробки торців пружин шліфуванням, що забезпечує високу точність і продуктивність без зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару.

**Виклад основного матеріалу.** Остаточну обробку торців пружин пропонується проводити на двосторонніх торцешліфувальних верстатах з горизонтальним компонованням шпиндельних вузлів, за один прохід, одночасно з двох сторін, застосовуючи спеціально профільовані абразивні круги, які складаються з двох ділянок: для зняття основного припуску й калібрувальної, на якій формується остаточно точність і шорсткість поверхні. Профільовані круги повинні бути орієнтовані щодо торцевих поверхонь заготовок.

**Висновки відповідно до статті.** У роботі запропонований спосіб остаточної обробки торців пружин шліфуванням, що забезпечує високу точність і продуктивність без зміни фізико-механічних властивостей поверхневого шару, що сприяє підвищенню надійності роботи пристроїв, що містять пружини. Відхилення від площинності торцевої поверхні пружини діаметром 26 мм становить 1,5 мкм, а відхилення від перпендикулярності торця осі – 2 мкм. Температура при шліфуванні не перевищує критичних точок, тому в поверхневому шарі не відбувається структурних і фазових змін.

**Ключові слова:** гвинтові пружини стиснення; двостороннє шліфування; орієнтовані кола; фізико-механічні властивості поверхневого шару; точність обробки; продуктивність обробки.

Рис.: 3. Бібл.: 6.

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

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

**Venzhega Volodymyr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Integrated Machine Building and Automobiles Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**ResearcherID:** H-3560-2014

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

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

**Rudyk Andriy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Integrated Machine Building and Automobiles Technologies, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6783-5438>

**ResearcherID:** J-4761-2014

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

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

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

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

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

**ResearcherID:** H-4455-2014

УДК 674.022:621.715

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-76-85

Сергій Сапон, Павло Ігнатенко, Володимир Журко

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ ДЛЯ ДЕРЕВООБРОБКИ

**Актуальність теми дослідження.** Підвищення рівня оснащення виробничих процесів деревообробки сучасним прогресивним технологічним оснащенням є одним з ефективних шляхів підвищення продуктивності та поліпшення показників якості виробів із деревини та меблів.

**Постановка проблеми.** Точність орієнтування, базування та надійність закріплення дерев'яних виробів та меблів при обробці досягається завдяки використанню засобів технологічного оснащення. Тому розробка високотехнологічних засобів технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва є актуальним завданням з погляду забезпечення високої ефективності процесів механічної обробки виробів із деревини та матеріалів на її основі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині є значна кількість літератури з проектування технологічного оснащення механоскладального виробництва, проте література, в якій би було висвітлено питання обґрунтованого вибору та проектування засобів технологічного оснащення для деревообробки, відсутня.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Процеси деревообробки порівняно з процесами механічної обробки в машинобудуванні мають свої особливості, передусім пов'язані з особливими технологічними властивостями деревини та матеріалів на її основі, особливостями схем обробки та технологічними можливостями деревообробного устаткування. У зв'язку з цим вибір, умови раціональної експлуатації універсальних, методика проектування спеціальних засобів технологічного оснащення для механічної обробки елементів дерев'яних виробів та меблів також мають свої особливості.

**Метою статті** є аналіз особливостей проектування засобів технологічного оснащення для механічної обробки елементів дерев'яних виробів та меблів.

**Виклад основного матеріалу.** Вперше дано загальне визначення та здійснена перша спроба класифікації технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва. Сформульовано основні вимоги та дано визначення видів технологічного оснащення для деревообробки за призначенням. Проаналізовано етапи розроблення технологічного оснащення для деревообробки. Систематизовано відмінності технологічного оснащення для деревообробки порівняно з технологічним оснащенням для механоскладального виробництва.

**Висновки відповідно до статті.** Уперше дано загальне визначення та наведена класифікація технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва. Виявлені та систематизовані особливості технологічного оснащення для деревообробки дають змогу в подальшому їх враховувати при розробці сучасних методик їх обґрунтованого вибору та проектування.

**Ключові слова:** технологічне оснащення; проектування; деревообробка; меблеве виробництво.

Рис.: 2. Табл.: 1. Бібл.: 12.

**Актуальність теми дослідження.** Підвищення продуктивності праці та поліпшення показників якості продукції, що випускається, є найважливішими завданнями будь-якої галузі промисловості, у тому числі й деревообробної. Одним з ефективних шляхів підвищення продуктивності та поліпшення показників якості виробів із деревини, меблевої промисловості є підвищення рівня оснащення виробничих процесів сучасним прогресивним технологічним оснащенням.

**Постановка проблеми.** Точність орієнтування, базування та надійність закріплення заготовки відносно робочих органів верстата при обробці ефективно забезпечується використанням засобів технологічного оснащення. Застосування установлювально-затискних та напрямних пристроїв сприяє підвищенню безпеки праці на операціях деревообробки. Тому розробка високотехнологічних засобів технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва є актуальним завданням з погляду забезпечення високої ефективності процесів механічної обробки виробів із деревини та матеріалів на її основі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням проектування технологічного оснащення механоскладального виробництва присвячена значна кількість навчально-методичної та наукової літератури [1–7]. Можливості пошукових систем мережі Інтернет дають змогу знайти описи конструкцій та принципів роботи деяких пристроїв для деревообробки, переважно відображених в описах до патентів або в рекламних матеріалах виробників технологічного оснащення. Проте література, в якій би було висвітлено питання обґрунтованого вибору та проектування засобів технологічного оснащення для деревообробки, відсутня.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Процеси деревообробки, виробництва дерев'яних конструкцій та меблів подібні до процесів механічної обробки в машинобудуванні, проте в деревообробці є свої особливості, передусім пов'язані з особливими технологічними властивостями деревини та матеріалів на її основі, особливостями схем обробки та технологічними можливостями деревообробного устаткування. У зв'язку з цим вибір, умови раціональної експлуатації універсальних, методика проектування спеціальних засобів технологічного оснащення для механічної обробки елементів дерев'яних виробів та меблів також мають свої особливості.

**Метою статті** є аналіз особливостей проектування засобів технологічного оснащення для механічної обробки елементів дерев'яних виробів та меблів.

**Виклад основного матеріалу.** Технологічне оснащення в деревообробці – це пристрої або механізми для ручної, механічної обробки, деформування, складання (склеювання) тощо елементів дерев'яних конструкцій, виробів чи меблів, що забезпечують взаємне орієнтування, сталість положення та закріплення елементів технологічної оброблювальної системи при різних видах обробки або складання виробів із деревини (меблів), доповнюють технологічне деревообробне устаткування або механізований деревообробний інструмент, розширюють їхні технологічні можливості, забезпечують безпеку праці робітника та підвищення продуктивності виконання технологічних операцій. До елементів технологічної оброблювальної системи в деревообробці належать: технологічне обладнання, ручний механізований деревообробний інструмент, дерев'яна заготовка або елементи дерев'яних конструкцій чи меблів при їх складанні. Також до технологічного оснащення відносяться контрольні пристрої та допоміжний інструмент, призначений для закріплення різального інструменту на деревообробних верстатах та механізованому деревообробному інструменті. У цій роботі здійснена перша спроба класифікації технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва, яка наведена на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація технологічного оснащення для деревообробки

За основу для розроблення класифікаційної схеми технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва взято класифікацію технологічного оснащення механоскладального виробництва, наведену в багатьох літературних джерелах [1–3; 8]. Основні відмінності полягають у класифікації технологічного оснащення за призначенням. Тому саме на особливостях технологічного оснащення для деревообробки за цією класифікаційною ознакою зупинимось детальніше.

*Складальні пристрої* можна поділити на три групи:

- для взаємного орієнтування елементів дерев'яних конструкцій, виробів та меблів при їх з'єднанні з подальшою фіксацією кріпильними елементами (саморізи, конфірмати тощо);
- для взаємного орієнтування елементів конструкцій, виробів та меблів із деревини або матеріалів на її основі при їх з'єднанні склеюванням;
- для деформування елементів конструкцій, виробів та меблів із деревини або матеріалів на її основі при складанні.

*Установлювально-затискні пристрої* використовуються для встановлення та закріплення заготовок при обробці ручним механізованим інструментом на столярних верстатках та при механічній обробці на деревообробних верстатах, їх також поділяють за типами верстатів: токарні, свердлильні, фрезерувальні тощо.

*Орієнтуюче-напрямні пристрої* забезпечують орієнтування та додаткові взаємні переміщення інструмента й оброблюваної заготовки, точне встановлення та направлення різального інструмента, регулювання та точність положення заготовки відносно різального інструменту під час обробки.

*Контрольно-розмічальні пристрої* призначені для контролю параметрів точності деталей, виробів та конструкцій із деревини або матеріалів на її основі після механічної обробки, складання, склеювання тощо, а також для виконання розмічальних робіт.

До *допоміжного оснащення для закріплення робочих інструментів* належать патрони для закріплення свердел, оправки, патрони для закріплення фрез, спеціальні пристрої для закріплення різального інструменту на токарних верстатах тощо.

*Транспортно-кантувальні (захватні) пристрої* використовуються для захоплення, переміщення й перевертання оброблюваних заготовок та дерев'яних виробів при їх вазі більше 150 Н ( $\approx 16$  кг). Їх застосовують переважно на лісозаготівельних підприємствах та пилорамах.

Основні вимоги до засобів технологічного оснащення для деревообробки можна сформулювати на основі аналогічних вимог до технологічного оснащення механоскладального виробництва, наведених у [2]:

1. Забезпечувати отримання заданої точності, що досягається:

- а) вибором відповідної конструкції та точності елементів пристрою, які визначають положення оброблюваних елементів дерев'яних виробів та меблів відносно різального інструменту або різального інструменту відносно відповідних оброблюваних поверхонь;
- б) жорсткістю конструкції пристрою, яка гарантує незмінність відносного розташування оброблюваних поверхонь та різального інструменту й відсутність вібрацій при значних коливаннях зусилля різання;
- в) надійністю притискних механізмів або затискачів, які забезпечують орієнтування або нерухоме базування елементів дерев'яних виробів та меблів під час механічної обробки;
- г) точністю встановлення засобів технологічного оснащення на верстаті або на елементах дерев'яних виробів та меблів.

2. Забезпечувати задану продуктивність операції. Ця вимога досягається:

- а) використанням певного типу притискних механізмів або затискачів та силових приводів (одиничне виробництво – ручні, серійне, масове – механізовані);
- б) автоматизацією робочих прийомів, спрямованих на обслуговування засобів технологічного оснащення, наприклад очищення від стружки.

3. Бути економічно доцільними. Витрати на проектування, виготовлення та експлуатацію пристрою повинні окупатись за рахунок зниження собівартості операції, для якої призначений пристрій. Тільки в одному випадку можна знехтувати цією умовою: коли використання пристрою звільняє робітника від важкої та небезпечної фізичної праці. Економічний фактор є одним із головних при розробці та конструюванні оснащення для деревообробки.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

4. Мати високу ремонтоздатність. Ця вимога забезпечується вибором відповідного конструктивного виконання і способу закріплення в пристрої елементів, які швидко спрацьовуються.

5. Бути зручним в експлуатації. Ця вимога забезпечується за рахунок:

а) зручності встановлення та зняття оброблюваних елементів дерев'яних виробів та меблів у пристрій або на установчі бази технологічного устаткування;

б) зручності встановлення та зняття засобів технологічного оснащення з оброблюваних елементів дерев'яних виробів та меблів;

в) зручності розміщення робочих рукояток затискачів;

г) легкості очищення установчих поверхонь від стружки;

д) простоти встановлення та закріплення технологічного оснащення на верстаті;

е) відсутністю дрібних частин, які знімаються і які можна загубити.

6. Полегшувати працю робітника. Це особливо важливо, коли пристрій використовується на важких та небезпечних роботах.

7. Забезпечувати безпеку в процесі експлуатації. Ця вимога забезпечується:

а) застосуванням затискних механізмів, які мають самогальмівні ланки;

б) використанням спеціальних блокуючих елементів, які автоматично вимикають верстат у разі можливого раптового розкріплення заготовки.

Крім перелічених основних вимог, залежно від призначення технологічного оснащення для деревообробки, до нього можуть бути висунуті ще додаткові специфічні вимоги, які конструктор повинен забезпечити в процесі проектування пристрою.

Весь обсяг робіт, пов'язаних з розробкою засобів технологічного оснащення для обробки деревини та виробів з матеріалів на її основі, можна поділити на три великі етапи, на кожному з яких послідовно вирішуються відповідні завдання:

1. Розроблення службового призначення та технічного завдання на проектування технологічного оснащення.

2. Проектування технологічного оснащення.

3. Конструювання технологічного оснащення.

Першим і одним із найважливіших етапів у процесі проектування будь-яких технічних об'єктів, у тому числі й засобів технологічного оснащення, є аналіз вихідних даних. Від ґрунтовності аналізу й опрацювання вихідних даних безпосередньо залежить працездатність майбутнього пристрою. Будь-які помилки або невизначеності у вихідних даних найчастіше призводять до неможливості застосування спроектованого технологічного оснащення через недосконалість його конструкції, недостатню точність, низьку жорсткість, ненадійність закріплення, неможливість точного та зручного встановлення й закріплення на верстаті (оброблюваному виробі) тощо. Велику частину вихідних даних отримують з креслеників елементів дерев'яних конструкцій, виробів чи меблів та розробленого технологічного процесу їх виготовлення.

Розроблення службового призначення технологічного оснащення ґрунтується на аналізі вихідної інформації про операцію технологічного процесу, для якої проектується пристрій, та умов, в яких експлуатуватиметься пристрій.

Зміст службового призначення пристрою для деревообробки практично нічим не відрізняється від пристрою для механоскладального виробництва та має бути приблизно таким:

- найменування пристрою та його загальне призначення;

- вид і кількість виробів (заготовок), які із застосуванням цього пристрою одночасно виготовляються (обробляються), їхні габарити;

- схема встановлення і закріплення виробів (заготовок);

- параметри точності деталі, елемента дерев'яного виробу чи меблів, які повинні бути забезпечені в процесі його виготовлення в цьому пристрої.

Технічне завдання (ТЗ) є основним вихідним документом для розробки будь-якого виду продукції та технічної документації на неї. При розробці технічного завдання на проектування технологічного оснащення необхідно узагальнити всі необхідні відомості про дерев'яний виріб, який буде виготовлятися із застосуванням цього пристрою та розробити тактико-технічні та техніко-організаційні вимоги до пристрою. ТЗ оформляється відповідно до вимог стандарту ДСТУ 3973-2000.

На етапі проектування технологічного оснащення розраховується пристрій та вибирають його окремі елементи. Визначають технічну (з огляду на забезпечення потрібної точності) й економічну доцільність можливих варіантів конструкції пристрою. Послідовність проектування технологічного оснащення для деревообробки принципово не відрізняється від проектування пристроїв для машинобудівного виробництва та складається з таких етапів:

1. Розробляється принципова схема пристрою, його компонування, які несуть інформацію про схему розташування установчих (напрямних) елементів, схему прикладання сил затискання до заготовки або дерев'яного виробу; кінематику передачі зусилля від привода до затискних (притискних) елементів.

Схема розташування установчих (напрямних) елементів визначається схемою базування заготовки (дерев'яного виробу) при обробці, складанні. Зі схеми базування заготовки отримують відомості про кількість та взаємне розташування установчих (напрямних) елементів. Добирають таку схему розташування установчих (напрямних) елементів, за якої буде забезпечуватись найвища точність встановлення та найбільша стійкість заготовки (дерев'яного виробу), що оброблюється. Треба зазначити, що на відміну від механоскладального виробництва в машинобудуванні в деревообробці поряд з нерухомим, що передбачає позбавлення заготовки шести ступенів волі, дуже часто має місце рухоме базування з наявністю до трьох ступенів волі [9]. При рухомому базуванні технологічна база заготовки ковзає по установчій базі верстата або технологічного оснащення (рис. 2) [10].

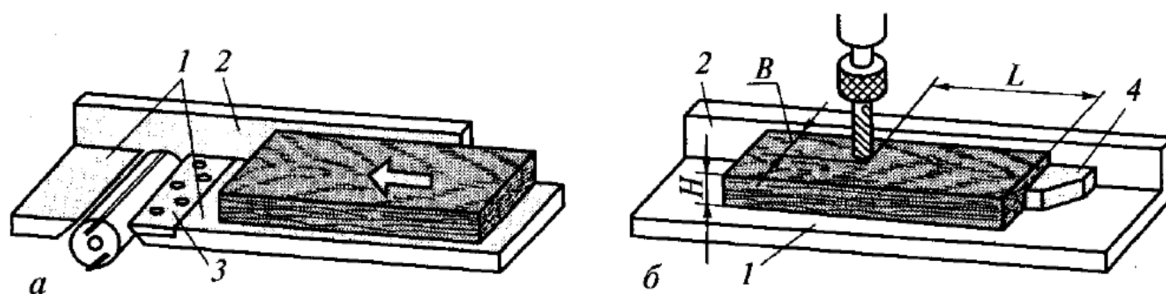


Рис. 2. Рухоме (а) та нерухоме (б) базування заготовок при деревообробці:

1 – стіл; 2 – напрямна лінійка; 3 – накладка; 4 – упор

При виборі схеми прикладання сил затискання оцінюють схему сил і моментів, що діють на заготовку (виріб) під час обробки, та згідно з обраною схемою розташування установчих (напрямних) елементів вирішують, на які поверхні заготовки спрямувати силове замикання і скільки сил діятиме на заготовку – одна чи кілька. При цьому також необхідно відзначити відмінність деревообробки від машинобудування. У деревообробці внаслідок наявності рухомого базування використовують притискні елементи (механізми) – пристрої силового замикання зі змінним контактом із заготовкою, які притискають заготовку до установчих елементів технологічного оснащення (устаткування), забезпечуючи при цьому рухомість заготовки.

Після визначення схем розташування установчих елементів і сил затиску визначають кінематичну схему механізму передачі зусилля від силового привода до затискних (притискних) елементів.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

2. Виходячи зі схеми базування заготовки та стану базових поверхонь, визначають тип та розміри установочних (напрямних) елементів, їх кількість та взаємне розташування.

3. Розраховують систему сил, що діють на заготовку (за визначеними під час розрахунку режимів обробки силами різання), вибирають місце прикладання і напрям дії затискного (притискного) зусилля, розраховують його величину.

На основі розробленої принципової будують розрахункову схему для визначення величини затискної сили, що потрібна для надійного затиску заготовки при нерухомому базуванні або притискної сили – при рухомому базуванні. На розрахунковій схемі позначаються всі діючі на оброблювану дерев'яну заготовку сили й моменти, місця (точки) їх прикладання та відстані між ними. Зазвичай на розрахунковій схемі відображаються сили й моменти різання, затискні зусилля, реакції опор і сили тертя.

Оскільки зусилля й моменти різання не залишаються постійними при обробці ні за величиною, ні за точкою прикладання, то при побудові розрахункової схеми необхідно розглядати найбільш несприятливий випадок, коли їхні значення будуть найбільшими, а напрям дії – найбільш несприятливий, що, відповідно, викликає необхідність прикладання найбільших зусиль закріплення (притискання).

Слід відзначити, що при обробці завжди виникають неминучі коливання сил і моментів різання, які викликаються різними факторами. Для того щоб гарантувати надійне контактування заготовки з установочними елементами пристрою та реалізацію нерухомого або рухомого базування сили, моменти різання перед розрахунками затискної сили необхідно збільшити на величину коефіцієнта запасу  $K$ , який у машинобудуванні розраховується добутком відповідних коефіцієнтів, що враховують умови обробки та закріплення заготовки. Методика розрахунку коефіцієнта запасу  $K$  у машинобудуванні існує та широковідома [1–5], чого не можна сказати про деревообробку. Це є ще однією особливістю проектування технологічного оснащення для деревообробки.

Потрібні величини затискних зусиль визначаються з умов рівноваги діючих на заготовку сил і моментів, тобто сили й моменти різання, що виникають під час обробки заготовки (дерев'яного виробу) мають врівноважуватись силами і моментами, що створюються затискними (притискними) елементами пристрою.

4. За величиною зусилля затиску (притискання) та кількістю місць його прикладання вибирають тип затискного (притискного) механізму, розраховують його параметри та величину необхідного зусилля, що розвивається приводом.

5. За необхідною величиною зусилля затиску (притискання) та регламентованим часом на затискання і звільнення обробленої заготовки при нерухомому базуванні, вибирають тип силового приводу та визначають або розраховують його розміри.

6. Встановлюється тип та розміри елементів для визначення положення та направлення різального інструменту (за необхідності).

7. Відповідно до розробленої компоновки пристрою та розмірів затискного (притискного) механізму із силовим приводом вибирають конструкцію корпусу.

8. Вибирають допоміжні елементи технологічного оснащення, визначають їх конструкцію, розміри, розташування (за необхідності).

9. Якщо є кілька можливих варіантів конструкції технологічного оснащення, то здійснюють їх техніко-економічне обґрунтування.

10. Виконують розрахунок пристрою на точність.

Пристрій є ланкою технологічної оброблювальної системи. Від точності його виготовлення та встановлення на деревообробному верстаті або на оброблюваній заготовці чи елементі дерев'яного виробу (меблів), зносостійкості установочних елементів та жорсткості значною мірою залежить точність обробки. При встановленні оброблюваного дерев'яного виробу в пристрій або пристрою на дерев'яний виріб, навіть при найретельнішому виготовленні установчих та затискних елементів, виникає похибка положення

оброблюваної заготовки, що впливає на точність розмірів чи параметрів, що висуваються під час обробки. Похибка пристрою – це характеристика конструкції пристрою, що визначає точність розташування оброблюваних поверхонь, зважаючи на схему пристрою, схему базування і закріплення. Метою розрахунку на точність є визначення необхідної точності виготовлення пристрою за вибраним параметром і встановлення допусків розмірів деталей і елементів пристрою.

З огляду на фізико-механічні властивості деревини та матеріалів на її основі, невисоку точність деревообробки, до технологічного оснащення в деревообробці не висувають таких вимог щодо точності, як до технологічного оснащення для механічної обробки в машинобудуванні. Тому для розрахунку пристрою для деревообробки на точність можна скористатись типовими методиками точнісного розрахунку пристроїв для механоскладального виробництва [1–5; 11].

11. Здійснюють перевірочні розрахунки на міцність (жорсткість) та (або) зносостійкість найбільш навантажених елементів технологічного оснащення.

12. Формулюють технічні вимоги до технологічного оснащення, де вказують необхідну точність складання, вимоги до регулювання та налагодження, оздоблювання і маркування пристрою, а також вказівки з техніки безпеки відповідно до чинних державних стандартів.

На етапі конструювання з вибраних елементів та на основі здійснених на етапі проектування розрахунків розробляють складальний кресленик технологічного оснащення для деревообробки й робочі кресленики оригінальних деталей із дотриманням ЄСКД. На цьому ж етапі, аналогічно пристроям для машинобудування, виготовляють технічний паспорт, в якому докладно формулюють службове призначення пристрою, перелічують складові елементи пристрою, їх призначення, вимоги до них та їх взаємодію. Описується послідовність роботи та принцип дії окремих механізмів та пристрою загалом, заходи щодо забезпечення безпечної роботи.

Незважаючи на лінійність наведеної методики, процес проектування й розрахунку пристрою часто не є таким. Іноді в процесі його виконання можуть здійснюватися повернення на попередні етапи, наприклад, для уточнення схеми установаження заготовки (виробу), заміни установочних і затискних елементів пристроїв, зміни вимог до деталей пристрою та його складання тощо.

Причиною таких повернень може бути недостатня точність пристрою, недостатня міцність його елементів, недопустимі габаритні розміри, неможливість виготовлення корпусу або окремих деталей, дуже велике значення сили закріплення, яку складно реалізувати в конструкції пристрою тощо.

На основі вищевикладеного матеріалу можна сформулювати відмінності у вимогах та особливостях проектування технологічного оснащення для деревообробки порівняно з вимогами до технологічного оснащення механоскладального виробництва, які систематизовані в таблиці.

Таблиця

*Відмінності технологічного оснащення для машинобудування та деревообробки*

Ознака 1	Машинобудування 2	Деревообробка 3
Функція затискних елементів технологічного оснащення	Забезпечення надійного нерухомого положення оброблюваної заготовки	1. Затискання оброблюваних деталей (елементів) у пристрої або оснащення на оброблюваних (деталях) елементах дерев'яних виробів або меблів. 2. Притискання заготовки до установчих баз технологічного устаткування (оснащення) забезпечуючи при цьому її рухомість
Базування оброблюваних заготовок	Переважно нерухоме з позбавленням шести ступенів волі	Нерухоме та рухоме з наявністю до трьох ступенів волі

1	2	3
Методика визначення коефіцієнта запасу К затискної сили	Широковідома	Потребує детальної розробки
Встановлення технологічного оснащення	Переважає на столі, фундаментній плиті верстата, на (в) шпинделі верстата	На столі, на (в) шпинделі верстата, а також на оброблюваних елементах дерев'яних виробів або меблів
Матеріал деталей технологічного оснащення	Вузька номенклатура: переважно металеві конструкційні матеріали з високими показниками міцності	Широка номенклатура: металеві конструкційні матеріали, пластмаса, дерево, полімерні композити тощо

**Висновки.** У роботі вперше дано загальне визначення технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва та здійснена перша спроба класифікації технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва. Проаналізовано особливості класифікації технологічного оснащення для деревообробки за призначенням. Сформульовано основні вимоги до засобів технологічного оснащення для деревообробки.

Проаналізовано етапи розроблення технологічного оснащення для деревообробки на предмет їх відмінностей з аналогічними етапами проектування технологічного оснащення для механоскладального виробництва в машинобудуванні. Виявлені відмінності систематизовано, що дає змогу в подальшому враховувати їх для розроблення сучасних методик обґрунтованого вибору та проектування технологічного оснащення для деревообробки та меблевого виробництва.

#### Список використаних джерел

1. Андреев Г. Н. Проектирование технологической оснастки машиностроительного производства : учеб. пособие для машиностроительных спец. вузов / Г. Н. Андреев, В. Ю. Новиков, А. Г. Схиртладзе ; под ред. Ю. М. Соломенцева. – 2-е изд. испр. – М. : Высш. шк., 1999. – 415 с.
2. Боровик А. І. Технологічна оснастка механоскладального виробництва : підручник / А. І. Боровик – К. : Кондор, 2008. – 726 с.
3. Дичковський М. Г. Технологічна оснастка. Курс лекцій : навчальний посібник / М. Г. Дичковський. – Херсон : Олді-плюс, 2008. – 328 с.
4. Блюменштейн В. Ю. Проектирование технологической оснастки : учебное пособие / В. Ю. Блюменштейн, А. А. Клепцов. – 2-е изд., исп. и доп. – СПб. : Лань, 2011. – 224 с.
5. Петров О. В. Комп'ютерне проектування технологічного оснащення. Курсове проектування : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 125 с.
6. Myasnikov Y. I. Systems approach to the design of technological equipment for metal-cutting machines / Y. I. Myasnikov, D. Y. Pimenov // Russian Engineering Research. – 2016. – Vol. 36. – № 11. – Pp. 951–955.
7. Ерохин В. В. Основные аспекты проектирования станочных приспособлений / В. В. Ерохин // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. – 2016. – № 1. – С. 11–17.
8. Схиртладзе А. Г. Технологическая оснастка машиностроительных производств : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств». Т. 5 / А. Г. Схиртладзе, С. Н. Григорьев, В. П. Борискин. – Старый Оскол : ТНТ, 2012. – 571 с.
9. Амаліцкі В. В. Деревообрабатывающие станки и инструменты / В. В. Амаліцкі, В. В. Амаліцкі. – М. : ИРПО: Издательский центр «Академия», 2002. – 400 с.
10. Левадний В. С. Обработка дерева на станках. Практическое пособие / В. С. Левадний, Ю. М. Черный. – М. : Аделант, 2007. – 384 с.
11. Микитянський В. В. Точность приспособлений в машиностроении / В. В. Микитянський. – М. : Машиностроение, 1984. – 128 с.
12. Everything Woodworking [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.pinterest.com/sleepydogwood/1-everything-woodworking>.

## References

1. Andreev, G. N. (1999). *Proektirovanie tekhnologicheskoi osnastki mashinostroitel'nogo proizvodstva* [Designing of technological accessories for machine-building production]. Moscow: Vysshiaia shkola [in Russian].
2. Borovyk, A. I. (2008). *Tekhnolohichna osnastka mekhanoskladalnoho vyrobnytstva* [Technological accessories for machine-building production]. Kyiv.: Kondor [in Ukrainian].
3. Dychkovskiy, M. H. (2008). *Tekhnolohichna osnastka. Kurs lektzii* [Technological accessories. The course of lectures.]. Kherson: Oldi-plius [in Ukrainian].
4. Bliumenshtein, V. Iu. (2011). *Proektirovanie tekhnologicheskoi osnastki* [Designing of technological accessories]. Sankt Peterburg: Lan [in Russian].
5. Petrov, O. V. (2013). *Kompiuterne proektuvannia tekhnolohichnoho osnashchennia* [Computer designing of technological accessories]. Vinnytsia: VNTU [in Ukrainian].
6. Myasnikov, Y. I., Pimenov, D. Y. (2016). Systems approach to the design of technological equipment for metal-cutting machines. *Russian Engineering Research*, 36 (11), 951–955.
7. Erokhin, V. V. (2016). Osnovnye aspekty proektirovaniia stanochnykh prispособlenii [The main aspects of the designing accessories for machine tools]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta – Scientific and Technical Herald of Bryansk State University*, 1, 11–17 [in Russian].
8. Skhirtladze, A. G. (2012). *Tekhnologicheskaiia osnastka mashinostroitel'nykh proizvodstv* [Technological accessories for machine-building productions]. Staryi Oskol: TNT [in Russian].
9. Amalitskii, V. V. (2002). *Derevoobrabatyvaiushchie stanki i instrumenty* [Woodworking machines and tools]. Moscow: IRPO: Izdatelskii tsentr «Akademiia» [in Russian].
10. Levadnyi, V. S. (2007). *Obrabotka dereva na stankakh* [Wood processing on machine tools]. Moscow: Adelant [in Russian].
11. Mikitianskii, V. V. (1984). *Tochnost prispособlenii v mashinostroenii* [Accuracy of accessories in mechanical engineering]. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
12. Everything Woodworking. Retrieved from <https://www.pinterest.com/sleepydogwood/1-everything-woodworking>.

UDC 674.022:621.715

Serhii Sapon, Paul Ihnatenko, Vladimir Zhurko

## FEATURES OF DESIGNING TECHNOLOGICAL ACCESSORIES FOR WOODWORKING

**Urgency of the research.** Increasing the level of the equipment of woodworking production processes with modern progressive equipment is one of the effective ways to increase productivity and improve the quality of wood and furniture products.

**Target setting.** Accuracy of orientation, basing and reliability of fastening of wooden products and furniture at processing is achieved by using the technological accessories. Therefore, the development of high-tech technological accessories for woodworking and furniture production is an urgent task for ensuring the high efficiency of the processes of machining wood products and materials based on it.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Currently, there is a significant amount of literature on the design of technological accessories for machining, but literature which issues justified selection and design of technological accessories for woodworking is lacking.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Processes of woodworking in comparison with processes of machining in mechanical engineering have the features. This is primarily due to the special technological properties of wood and materials based on it, the features of processing schemes and the technological capabilities of woodworking equipment. Therefore, the choice, the conditions for rational operation of the universal, the methodology for designing special technological accessories for woodworking also have their own characteristics.

**The research objective** of this article is the analysis of design features of technological accessories for mechanical processing of elements of wooden products and furniture.

**The statement of basic materials.** The general definition and the first attempt to classify the technological accessories for woodworking and furniture production was made for the first time. The main requirements and the definition of the types of technological accessories for woodworking for the purpose are formulated. Stages of development of technological accessories for woodworking are analyzed. Differences of technological accessories for woodworking in comparison with technological accessories for machinebuilding production are systematized.

**Conclusions.** For the first time a general definition is given and a classification of the technological accessories for woodworking and furniture production is given. The features of technological accessories for woodworking are revealed and systematized allowing to take them into account in the further development of modern methods for their reasonable choice and design.

**Keywords:** technological accessories; design; woodworking; furniture manufacturing.

Fig.: 2. Table: 1. References: 12.

Сергей Сапон, Павел Игнатенко, Владимир Журко

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ДЕРЕВООБРАБОТКИ

**Актуальность темы исследования.** Повышение уровня оснащенности производственных процессов деревообработки современной прогрессивной технологической оснасткой является одним из эффективных путей повышения производительности и улучшения показателей качества изделий из древесины и мебели.

**Постановка проблемы.** Точность ориентирования, базирования и надежность закрепления деревянных изделий и мебели при обработке достигается за счет использования технологической оснастки. Поэтому разработка высокотехнологичной технологической оснастки для деревообработки и мебельного производства является актуальной задачей для обеспечения высокой эффективности процессов механической обработки изделий из древесины и материалов на ее основе.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время есть значительное количество литературы по проектированию технологической оснастки механосборочного производства, однако литература, в которой бы излагались вопросы обоснованного выбора и проектирования технологической оснастки для деревообработки, отсутствует.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Процессы деревообработки по сравнению с процессами механической обработки в машиностроении имеют свои особенности. Это прежде всего связано с особыми технологическими свойствами древесины и материалов на ее основе, особенностями схем обработки и технологическими возможностями деревообрабатывающего оборудования. Поэтому выбор, условия рациональной эксплуатации универсальной, методика проектирования специальной технологической оснастки для деревообработки также имеют свои особенности.

**Целью статьи** является анализ особенностей проектирования технологической оснастки для механической обработки элементов деревянных изделий и мебели.

**Изложение основного материала.** Впервые дано общее определение и сделана первая попытка классификации технологической оснастки для деревообработки и мебельного производства. Сформулированы основные требования и дано определение видов технологической оснастки для деревообработки по назначению. Проанализированы этапы разработки технологической оснастки для деревообработки. Систематизированы различия технологической оснастки для деревообработки по сравнению с технологической оснасткой для механосборочного производства.

**Выводы в соответствии со статьей.** Впервые дано общее определение и приведена классификация технологической оснастки для деревообработки и мебельного производства. Выявлены и систематизированы особенности технологической оснастки для деревообработки позволяющие в дальнейшем их учитывать при разработке современных методик их обоснованного выбора и проектирования.

**Ключевые слова:** технологическая оснастка; проектирование; деревообработка; мебельное производство.

Рис.: 2. Табл.: 1. Библ.: 12.

**Сапон Сергій Петрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри технологій машинобудування і деревообробки, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

**Sapon Serhii** – PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor of Machine Building Technology and Wood Processing Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** s.sapon@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1082-6431>

**ResearcherID:** G-7764-2014

**SCOPUS Author ID:** 56736964700

**Игнатенко 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).

**Ihnatenko Paul** – 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:** ignatenkop1@mail.ru

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0967-1631>

**ResearcherID:** G-6310-2014

**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).

**Zhurko Vladimir** – 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>

UDC 621.923

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-86-93

Oleksandr Lytvyn, Dmytro Kalchenko

## INVESTIGATION OF THE PROCESS OF DOUBLE-SIDED GRINDING OF TORCHES OF PUSHERS WITH DIFFERENT DIAMETERS

**Urgency of the research.** In machine tools, automotive, agricultural engineering, manufacturing, where it is necessary to ensure high accuracy of surfaces of parts with different diameters of faces, it is required to adhere to high requirements for the quality of geometric sizes, roughness and accuracy of molding.

**Target setting.** Grinding of end surfaces of parts with different diameters of faces, is carried out on two-sided end-grinding machines. The specific gravity of grinding in the total complexity of mechanical processing is constantly increasing and at the present stage it is about 30 % in the machine tool industry, in the automotive industry more than 38% of the total complexity of processing.

**Actual scientific researches and issues analysis.** On the two-sided end-grinding machines of the Saturn company (Germany) the processing of round ends of parts is done with a circular feed to the processing area. Abrasive wheels are used without calibrating plots, which requires a lot of processing to obtain the required precision, which reduces the productivity of grinding. 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 improve the processing efficiency of parts by developing the methods of two-sided polishing of the ends of pushers with different diameters oriented grinding wheels with and without calibrating sections, and also the rotation or without rotation of the workpiece on the calibration section, at least one revolution.

**The research objective.** 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 – 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.

**The statement of basic materials.** In order to ensure the processing of parts in one pass and the necessary precision of processing, in large-scale and mass production, a grinding method oriented circles with calibrated sections with one-sided arrangement of ends of one diameter is used. The calibration sections are then made of different lengths, depending on the diameter, respectively, larger and smaller.

**Conclusions.** The universal method of practical application of model of accuracy of shaping of ends of parts of different diameters, oriented grinding circles with and without calibration plots has been suggested. The presented method simplifies the grinding of the grinding wheel. It does not require special editing and allows to use regular editing.

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

Fig.: 3. References: 10.

**Urgency of the research.** In machine tools, automotive, agricultural engineering, manufacturing, where it is necessary to ensure high accuracy of surfaces of parts with different diameters of faces, it is required to adhere to high requirements for the quality of geometric sizes, roughness and accuracy of molding. Moreover, further intensification of grinding processes is impossible without a rational accounting of the general influence of the conditions of mechanical cutting and the properties of the grinding tool and the workpiece, which reduces the power and thermal factors, increases the speed of material removal, improve the quality of the treated surface.

**Target setting.** Grinding of end surfaces of parts with different diameters of faces, is carried out on two-sided end-grinding machines. The specific gravity of grinding in the total complexity of mechanical processing is constantly increasing and at the present stage it is about 30 % in the machine tool industry, in the automotive industry more than 38 % of the total complexity of processing [8].

**Actual scientific researches and issues analysis.** On the two-sided end-grinding machines of the Saturn company (Germany) [1] the processing of round ends of parts is done with a circular feed to the processing area. Abrasive wheels are used without calibrating plots, which requires a lot of processing to obtain the required precision, which reduces the productivity of grinding. It is known the method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts [2]. The disadvantage of the method is that the processing of parts with different face diameters is not considered.

Significant influence on the formation of the relief of the working surface of the grinding wheel provide cutting modes, geometric parameters, physical and mechanical properties of the tool and the material being processed. It is known that when working on a grinding wheel in the mode of predominant blunting on the tops of grains there are areas of wear, and when circles work in the self-tuning mode such areas are almost not observed [9, etc.].

**Uninvestigated parts of general matters defining.** It is necessary to improve the processing efficiency of parts by developing the methods of two-sided polishing of the ends of pushers with different diameters oriented grinding wheels with and without calibrating sections, and also the rotation or without rotation of the workpiece on the calibration section, at least one revolution.

**The research objective.** 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 - 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. This method simplifies the grinding of the grinding wheel. It does not require special editing, allows you to use regular editing. It would also be advisable to develop a model of processing performance of each end of the component, total productivity, techniques of theoretical and experimental studies of processing at each end of the productivity of the grinding, power and cutting forces, which will increase the efficiency of the evaluation for new ways of grinding ends.

**The statement of basic materials.** Firstly, the size of the admission, which is removed when grinding, is determined. If the propensity is small, then it is advisable to handle the oriented grinding wheels without calibration areas [3], and without rotation of the part around its own axis. If more precision is required, it is used a rotating part method. In the case of the processing of parts with the removal of large allowances, the possibility of processing with oriented grinding wheels without calibrated areas with one-sided arrangement of ends of one diameter [4] is checked. This processing option is chosen if the error on the ends of the larger diameter is no more than permissible. In order to ensure the processing of parts in one pass and the necessary precision of processing, in large-scale and mass production, a grinding method [5-9] oriented circles with calibrated sections with one-sided arrangement of ends of one diameter is used. The calibration sections are then made of different lengths, depending on the diameter, respectively larger and smaller. The calculation of the accuracy of the shaping of parts is carried out according to the program of a universal model of precision shaping of parts with ends of different diameters.

When the billets 3 are fed into the machining area along the guide with the required clearance  $\Delta\delta$ , the workpiece 3 is shifted axially by a magnitude  $\Delta\delta$ , which increases the removable allowance on one end and reduces it to the second, which results in various productivity, cutting forces and wear of the wheels.

The torque  $M$ , which rotates the workpiece 3 (Fig. 1) during processing, is determined by the formula [10]

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

where  $P_z$  – the value of the tangential force of cutting on the maximum  $R_{\max}$  and minimum  $R_{\min}$  touch radius of the grinding wheel 1 and the parts 3 with a diameter  $d$ .

The analysis of formula (1) shows that when the part enters the processing area and touches the diameter of the circle, which is equal to  $R_v - L_k$  (pic 1),  $L_k = d$  part in this case  $R_{\min} = 0$ , and a circle, due to cutting forces  $P_z$ , begins to rotate the part clockwise with a speed approaching the speed of the grinding wheel, with a decrease in the coefficient of slipping the part, there is a transient process in which there is no time to withdraw the allowance and the intense wear of the circle begins. In the process of moving the workpiece 3 feeder drum 1, the speed of rotation of the workpiece gradually decreases and when the contact includes the entire face and the radius touching details the transition process is over, there is a torque (1) that rotates clockwise (Fig. 1). When the part is exited from the roughing zone on the calibration section of the cutting force  $P_z$  are decreasing, as the contact occurs along the line, and with a small depth of grinding, and at the exit of the end of the part for the outer diameter of the cir-

cle  $R_v$ ,  $R_{\min}$  gradually decreases to 0, the direction of rotation is changing and the part begins to rotate anticlockwise, there is a transient process due to the overlocking of the part by the maximum diameter of the circle  $R_{\max} = R_v$  at the end of the calibration area with low intensity (1). The experimental study of the process of rotation of the workpiece by cutting forces for double-faceted grinding has been first performed by the author [5], where the speed of the piston pin was measured by a digital laser contactless tachometer HS2234.

The torque  $M$ , which rotates pusher 3 (Fig. 1) during processing, is determined by the formula.

$$M = (R_{\max D} - R_{\min D}) \cdot P_{zD} - (P_{nD} - P_{nd}) \cdot f \cdot R_t + (R_{\max d} - R_{\min d}) \cdot P_{zd}, \quad (2)$$

where  $P_{zD}$  – the value of the tangential force of cutting at the maximum  $R_{\max D}$  and minimum  $R_{\min D}$  touch radius of the grinding wheel 2 and the part 3 'in diameter  $D$ ;  $P_{nD}$ ,  $P_{nd}$  – normal components of the cutting force on the larger and smaller ends;  $f$  – coefficient of friction on the end of the drum hub;  $R_t$  – radius of friction of the pusher on the hub of the drum;  $P_{zd}$  – the value of the tangential cutting force at the maximum  $R_{\max d}$  and minimum  $R_{\min d}$  touch radius of the grinding wheel 1 and the part 3 with diameter  $d$ .

The analysis of formula (2) shows that the larger diameter  $D$  first enters the processing area and touches the diameter of the circle 1, which is equal to  $R_v - L_k$ ,  $L_k = D$  and circle 1, due to cutting forces  $P_{zD}$ , begins to rotate the part anticlockwise at a speed that is approaching the speed of the grinding wheel, a transient process appears. When moving the feed drum by a value equal to  $D / 2 - d / 2$ , processing of the end face of a smaller diameter, on which the torque and the normal component appear  $P_{nd}$  (3). In the process of moving the part by the drum, when the contact is the end of the part  $D$ , the radiuses  $R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  touching parts, the transition process is over (Fig. 1), and there is a torque  $M$  (3), and at the output of the larger end of the diameter of the part for the outer diameter of the circle  $R_v = R_{\max}$ ,  $R_{\min}$  gradually decreases to 0, the direction of rotation changes, there is a transient process due to the overlocking of the part with a larger diameter of the circle  $R_v$ .

Since  $P_n \leq 3 P_z$ , the coefficient of friction  $f \leq 0.15-0.2$ ,  $R_t \leq D/2$ , the torque calculated by the formula (3) for the maximum values of  $P_n$ ,  $f$ ,  $R_t$  is greater than the friction moment, therefore the part will always be rotated.

The developed 3D model first determines the overall performance  $Q_s$  of the processing of two round ends, for example: pushers, roller bearings and other parts, depending on the processing coordinate  $\theta b$  along the entire length of the contact line  $L$ . It is equal

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

where  $Q_l$  and  $Q_p$  – the processing performance of the left and right ends of the parts.

The left-hand side, in the coordinate system of the part (Fig. 1.2) has a coordinate –  $Z_d = -\frac{H}{2}$ , and the right  $Z_d = \frac{H}{2}$ , where  $H$  is the length of the part.

The number of parts  $m$ , which are simultaneously machined on the machine, is determined by the formula

$$m = \frac{L}{d} + \epsilon_p, \quad (4)$$

where  $L = R_b \theta b_2$  - the length of the contact arc on the radius  $R_b$  of the feed drum 1, parts 3 with circles 1,2 at the angle  $\theta b_2$ ;  $\theta b_1$ ,  $\theta b_2$  – the angles of the position of the part at the beginning of the processing and the points  $n$ ;  $d$  - outer diameter of the part 3;  $B_p$  - the distance between



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

the parts on the radius of the feed drum  $R_b$ . Formation of the end face of a smaller diameter is performed by the maximum diameter of the flat end of one circle, and the shaping of the face of the larger diameter - the calibration section of the second circle, the length of which is equal to the diameter of the larger end and filled with a diamond pencil which axis moves along the radius, that coincides with the radius of the location of the axes of the parts in the feed drum.

In fig. 1 positions are as follows: 1 - the product feed drum, 2 - the prism, 3 - the workpiece, 4, 5 - grinding wheels, 6, 7 - grinding wheels, 8 - a device for fixing the ends of grinding wheels, 9 - a spherical hinge relative to which there is a turn of circles, 10 - a calibration section of a grinding wheel that handles the ends of larger diameters.

The scheme of the process of bilateral sanding of the ends of the pusher gas distributing mechanisms of internal combustion engines is shown in Fig. 1, where the workpieces 3 are installed in the prisms 2 of the product feed drum 1, are treated with grinding wheels 4, 5, which are rotated to the optimal angles with the grinding wheels 6, 7. The rotation of the grinding wheels 4, 5 at the angles  $\psi$  and  $\phi$  takes place relative to the spherical hinges 9.

The grinding tubes, together with the circles, orient at the angles  $\psi$  in the vertical plane and at the angles  $\phi$  - in the horizontal. In the process of grinding, the parts are moved to a narrowing area.

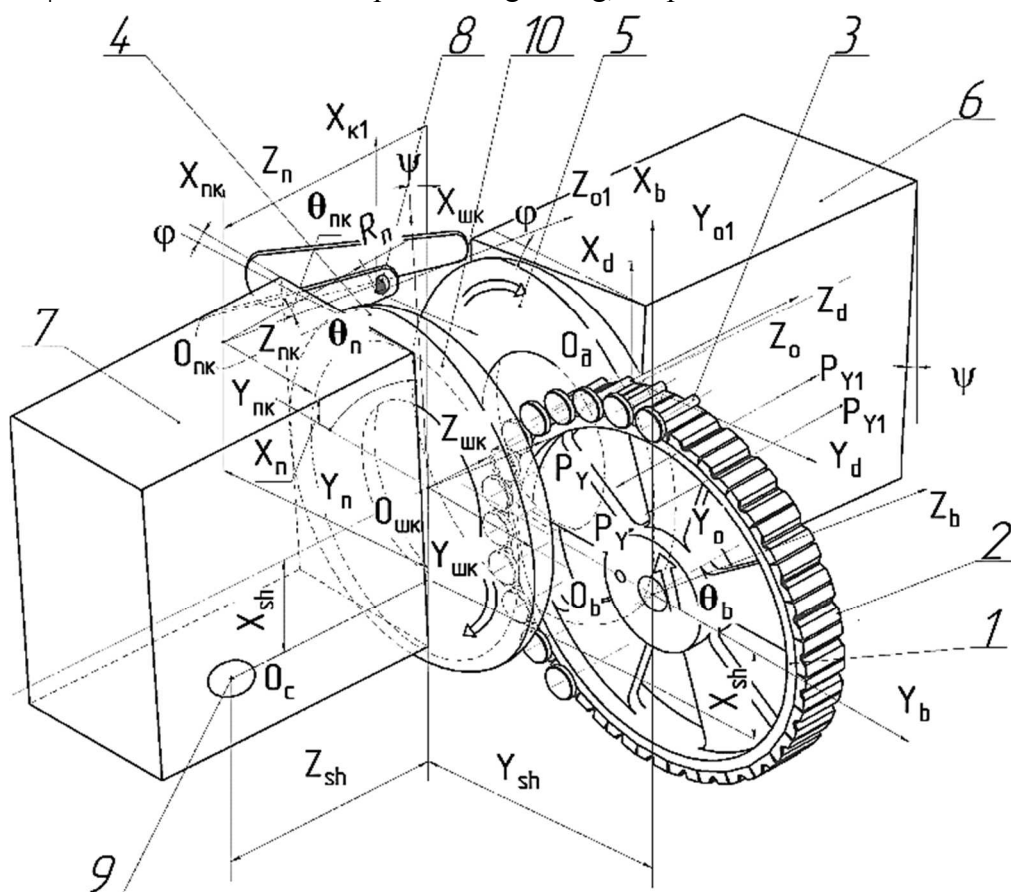


Fig. 1. The scheme of processing the ends of pushers, which rotate and do not rotate during processing

Also, experimental research was carried out on the powers and forces of the pusher cutting according to the coordinate of processing  $\theta_b$  with different end faces diameters. Grinding is carried out in a new developed way (Fig. 2).

Fig. 3 shows a graph of the power and cutting forces for the coordinate of the processing  $\theta_b$  on the two ends of one pusher. The power is shown by curves 1 and 2, and the forces of cutting are curves 5 and 6.

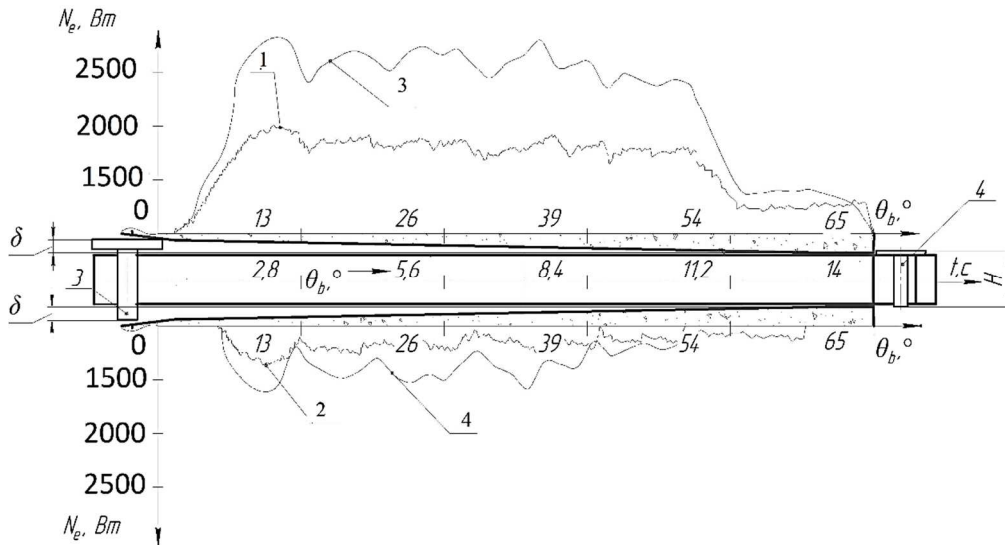


Fig. 2. Active power and cutting forces by coordinate of processing  $\theta_b$  on two ends of one pusher

Fig. 2 shows a graph of the power and cutting forces of the coordinate of processing  $\theta_b$  on the two ends of one pusher. The power is shown in curves 1 and 2, and the cutting forces are curves 3 and 4. When processing the end of the part, the power is gradually increases until the part completely goes into the roughing area, and then the power value has a practically stable value, since the same tolerance is removed uniformly along the arc of processing, then there is a decline in power, as the part goes into processing by calibrating sections, and at the end the output of the part from the calibration section.

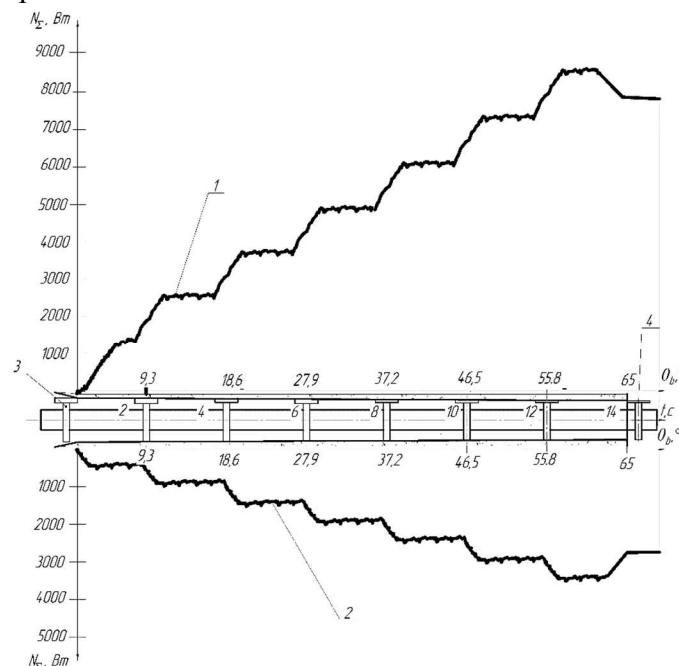


Fig. 3. Total active power, on two ends with continuous supply of pushers to the processing area

In Fig. 3 we show the total power at the coordinate of the processing  $\theta_b$ , the capacity of 1,2 on the two ends, with the continuous supply of pushers 3 to the processing area. The maximum value of total power will be at the point where the calibration area begins, then it begins to decrease by magnitude, the pusher is treated with a calibrating area. When the pusher is released from the calibration area, the following rough pusher is fed into the processing zone.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

As it can be seen from the figure, the first pusher enters the big end, this leads to an increase in power, the smaller diameter begins processing with a delay on the difference in radiuses.

**Conclusion.** The universal method of practical application of model of accuracy of shaping of ends of parts of different diameters, oriented grinding circles with and without calibration plots has been suggested. The presented method simplifies the grinding of the grinding wheel. It does not require special editing and allows to use regular editing.

The model, which allows to determine the torque from the cutting forces when grinding cylindrical round parts of different diameter of the ends, has been developed. The model describes the mechanism of occurrence of the transition process at the input of the part in the processing area, stabilization of the process and the output of the part from the processing area. With the help of this model it is possible to perform the analysis of the accuracy of the shaping of the part when leaving the processing area.

The 3D model of total productivity has been developed and the general method of theoretical and experimental research of specific coordinate processing on each end, and general: grinding productivity, power and cutting forces, which will allow to create new highly effective methods of grinding.

### References

1. Junker, E. (2005). *Saturn End-grinding with twin grinding wheels: Journal for Junkermaschinen customers*. Nordrash, Germany [in English].
2. Grabchenko, A. I., Kalchenko, V. I. & Kalchenko, V. V. (2015). *Shlifovanie so skreshchivayushchimisya osyami instrumenta i detali [Grinding with cross-axis tool and detail]*. (2nd. ed.). Chernihiv: CSTU [in Russian].
3. Kalchenko, V. V. & Zhadan, O. V (2005). Declarative Patent of Ukraine for invention (utility model), № 10636B24VMK15. *Sposib odnochasnogo shlifuvannya dvokh tortsiv tsilindrichnikh detaley [Method of simultaneous grinding of two ends of cylindrical parts]*. № u200505125; stated on May 30, 05; has published on Nov 15, 05[in Ukrainian].
4. Venzheha, V. I. (2009). Pidvyshchennia efektyvnosti shlifuvannya tortsiv pry skreshchenykh osiakh detali ta kruha z kalibruvalnoiu diliankoiu [Improving the effectiveness of grinding end faces in crossed axes parts and circles with a calibration area]. *Candidate's thesis*. Kharkiv[in Ukrainian].
5. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Slednikova, O. S. & Kalchenko, D. V. (2016). Doslidzhennia protsesu shlifuvannya tortsiv oriientovanykh detalei profilovanymy kruhamy [Investigation of the process of grinding of ends of oriented details with profiled circles]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky - Bulletin of Cherkasy State Technological University. Series: Engineering*, 4, 72-82 [in Ukrainian].
6. Kalchenko, V. I., Kalchenko, V. V., Slednikova, O. S. & Kalchenko, D. V. (2016). Teoretychne ta eksperymentalne doslidzhennia protsesiv znattia prypusku, znosu kruhiv, tochnosti formoutvorennia ta teplonapruzhenosti pid chas shlifuvannya tortsiv detalei [Theoretical and experimental research of the processes of the knowledge of the letdown, wear of circles, the accuracy of forming and heat stress during the grinding of the ends of the parts]. *Visnyk Chernihivskoho Natsionalnoho Tekhnolohichnoho Universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky – Bulletin of the Chernihiv National Technological University. Series: Engineering*, 4 (6), 25–34 [in Ukrainian].
7. Filimonov, L. N. (1985). *Ploskoe shlifovanie [Flat grinding]*. Lviv: Mechanical Engineering [in Russian].
8. Lavrinenko, V. I., Shepelev, A. A. & Dubrova, A. E. (2003). Konkurentosposobnost i tekhnicheskii uroven shlifovalnykh krugov iz STM [Competitiveness and technical level of sliifalvalnyh circles from STM]. *Vysoki tekhnolohii v mashynobuduvanni – High technologies in mechanical engineering*, 1 (6), 179–186 [in Russian].
9. Lurie, G. B. (1970). *Shlifovanie metallov [Grinding of metals]*. Moscow: Science [in Russian].
10. Eroshenko, A. M. & Kalchenko, D. V. (2018). *Doslidzhennia protsesu dvostoronnoho shlifuvannya tortsivtsilindrychnykh detalei oriientovanymy kruhamy z kalibriuichymy diliankamy. Kompleksne zabezpechennia yakosti tekhnolohichnykh protsesiv ta system [Investigation of the process of two-sided grinding of ends of cylindrical parts with orientated circles with calibrated sections. Integrated assurance of the quality of technological processes and systems]*. (Vols. 1) (pp. 183–185). Chernihiv [in Ukrainian].

**References (in language original)**

1. *Saturn*. Торцевое шлифование спаренными шлифовальными кругами: [Журнал для клиентов фирмы «Junkermaschinen»] / Erwin Junker: Maschinenfabric Gmbh, Junkerstraße 2. Postfach 25. D 77787. – Nordrash, Germany, 2005 – 8 с.
2. *Грабченко А. И.* Шлифование со скрещивающимися осями инструмента и детали : монография / А. И. Грабченко, В. И. Кальченко, В. В. Кальченко. – Издание 2-е, дополненное. – Чернигов : ЧНТУ, 2015. – 504 с.
3. *Деклараційний патент України на винахід (корисну модель), №10636В24ВМКл5/04.* Спосіб одночасного шліфування двох торців циліндричних деталей / Кальченко В. В., Жадан О. В. ; заявник та патентовласник Кальченко В. В., Жадан О. В. – № u200505125 ; заявл. 30.05.05; опубл. 15.11.05, Бюл. № 1.
4. *Венжега В. І.* Підвищення ефективності шліфування торців при схрещених осях деталі та круга з калібрувальною ділянкою : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.03.01 / В. І. Венжега ; Харківський політехнічний інститут. – Х., 2009. – 214 с.
5. *Дослідження процесу шліфування торців орієнтованих деталей профільованими кругами* / В. І. Кальченко, В. В. Кальченко, О. С. Следнікова // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки. – 2016. – № 4. – С. 72–82.
6. *Теоретичне та експериментальне дослідження процесів знаття припуску, зносу кругів, точності формоутворення та теплонапруженності під час шліфування торців деталей* / В. І. Кальченко, В. І. Венжега, О. С. Следнікова, Д. В. Кальченко // Вісник Чернігівського національного технологічного університету. Серія: Технічні науки: науковий журнал. – 2016. – № 4 (6). – С. 25-34.
7. *Филимонов Л. Н.* Плоское шлифование / Л. Н. Филимонов. – Л. : Машиностроение, 1985. – 109 с.
8. *Лавриненко В. И.* Конкурентоспособность и технический уровень шлифовальных кругов из СТМ / В. И. Лавриненко, А. А. Шепелев, А. Е. Дуброва // Високі технології в машинобудуванні. – Харків, 2003. – Вип. 1(6). – С. 179–186.
9. *Лурье Г. Б.* Шлифование металлов / Г. Б. Лурье. – М. : Наука, 1970. – 172 с.
10. *Єрошенко А. М.* Дослідження процесу двостороннього шліфування торців циліндричних деталей орієнтованими кругами з калібруючими ділянками / А. М. Єрошенко, Д. В. Кальченко // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: матеріали конференції. – Чернігів, 2018. – Т. 1. – С. 183–185.

УДК 621.923

Олександр Литвин, Дмитро Кальченко

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДВОСТОРОННЬОГО ШЛІФУВАННЯ  
ТОРЦІВ РІЗНОГО ДІАМЕТРА**

**Актуальність теми дослідження.** У 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.

**Постановка проблеми.** Шліфування торцевих поверхонь деталей з різними діаметрами торців, здійснюються на двосторонніх торцешліфувальних верстатах. Питома вага шліфування в загальній трудомісткості механічної обробки постійно зростає і на сучасному етапі становить в верстатобудівній промисловості близько 30 %, в автомобільній промисловості понад 38 % загальної трудомісткості обробки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На двосторонніх торцешліфувальних верстатах фірми Saturn (Німеччина) виконується обробка круглих торців деталей із круговою подачею в зону обробки. Використовуються абразивні круги без калібруючих ділянок, що вимагає багатопрохідну обробку для отримання необхідної точності, що знижує продуктивність шліфування. Недоліком способу є те, що не розглядається обробка деталей із різними діаметрами торців.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Потрібно здійснити підвищення ефективності обробки деталей, завдяки вдосконаленню способів двостороннього шліфування торців штовхачів із різними діаметрами орієнтованими профільованими шліфувальними кругами з калібруючими ділянками та без них, а також обертання чи не обертання оброблювальної деталі на калібруючій ділянці, не менше одного оберту.

**Постановка завдання.** Підвищення точності обробки кінцевих поверхонь деталей різного діаметра зі шліфувальними кругами досягається тим, що формування кінців меншого діаметра здійснюється за допомогою максимального діаметра плоского кінця одного кола, а формування торцевої поверхні більшого діаметра – калібрувальна секція другого кола, довжина якої дорівнює діаметру більшого кінця й наповнена алмазним олівцем, який рухається вздовж радіуса, який збігається з радіусом розташування осі частин у подавальному барабані.

**Виклад основного матеріалу.** Для забезпечення обробки деталей за один прохід та необхідної точності обробки, при великосерійному та масовому виробництві використовується спосіб шліфування орієнтованими кругами з

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

калібруючими ділянками з одностороннім розташуванням торців одного діаметра. Калібруючі ділянки при цьому роблять різної довжини, залежно від діаметра, відповідно більшого та меншого.

**Висновки відповідно до статті.** 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.

**Ключові слова:** шліфування; кінці різних діаметрів; штовхачі; орієнтовані шліфувальні круги; калібрувальні секції.  
*Рис.: 3. Бібл.: 10.*

УДК 621.923

Александр Литвин, Дмитрий Кальченко

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДВУХСТОРОННЕГО ШЛИФОВАНИЯ  
ТОРЦОВ ТОЛКАТЕЛЕЙ РАЗНОГО ДИАМЕТРА**

**Актуальность темы исследования.** В станкостроении, автомобилестроении, сельскохозяйственном машиностроении, производствах, где необходимо обеспечение высокой точности поверхностей деталей с различными диаметрами торцов, нужно придерживаться высоких требований к качеству, предъявляемых к геометрическим размерам, шероховатости и точности формообразования.

**Постановка проблемы.** Шлифовка торцевых поверхностей деталей с различными диаметрами торцов, осуществляются на двусторонних торцешлифовальных станках. Удельный вес шлифования в общей трудоемкости механической обработки постоянно растет и на современном этапе составляет в станкостроительной промышленности около 30 %, в автомобильной промышленности более 38 % общей трудоемкости обработки.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На двусторонних торцешлифовальных станках фирмы Saturn (Германия) выполняется обработка круглых торцов деталей с круговой подачей в зону обработки. Используются абразивные круги без калибрующих участков, требует многопроходную обработку для получения необходимой точности, что снижает производительность шлифования. 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, а также вращения ли вращения обрабатываемой детали на калибровке участке, не менее одного оборота.

**Постановка задачи.** Повышение точности обработки конечных поверхностей деталей разного диаметра с шлифовальными кругами достигается тем, что формирование концов меньшего диаметра осуществляется с помощью максимального диаметра плоского конца одного круга, а формирование торцевая поверхность большего диаметра – калибровочная секция второго круга, длина которой равна диаметру большего конца и наполнена алмазным карандашом, который движется вдоль радиуса, который совпадает с радиусом расположения оси частей в подающем барабане.

**Изложение основного материала.** Для обеспечения обработки деталей за один проход и требуемой точности обработки, при крупносерийном и массовом производстве используется способ шлифовки ориентированными кругами с калибровочной участками с односторонним расположением торцов одного диаметра. Калибровкой участка при этом делаются различной длины, в зависимости от диаметра, соответственно большего и меньшего.

**Выводы в соответствии со статьей.** Предложенная универсальная методика практического использования модели точности формообразования торцов деталей различных диаметров, ориентированными шлифовальными кругами с калибровкой участками и без них. Представленный способ упрощает правку шлифовального круга. Не требует специальной правки, позволяет использовать штатную правку.

**Ключевые слова:** шлифовка; конце различных диаметров; толкатели; ориентированы шлифовальные круги; калибровочные секции.

*Рис.: 3. Библ.: 10.*

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

**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 кафедри информационных технологий и программной инженерии, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

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

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

**ResearcherID:** J-1479-2016

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

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

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

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

## РОЗДІЛ III. ЗВАРЮВАННЯ ТА МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО

УДК 621.791:666.1.037.42

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-94-102

*Леонід Березін, Михайло Руденко*

### ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ЗВАРЮВАННЯ ДІЕЛЕКТРИКІВ З АЛЮМІНІЄМ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ ВИСОКОЇ НАПРУГИ

**Актуальність теми досліджень.** Використання зварювання в електричному полі високої напруги для виготовлення прецизійних приладів, наприклад, лазерних гіроскопів, що працюють у важких умовах (вібрації, удари, перепади температур тощо).

**Постановки проблеми.** Сучасні знання про особливості утворення зварного з'єднання при використанні зварювання в електричному полі високої напруги не дозволяють повноцінно оптимізувати процес зварювання й отримувати зварні з'єднання необхідної якості.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Отримання якісних зварних з'єднань зварюванням в електричному полі високої напруги пов'язано з величиною мікросорсткості поверхні діелектрика, якістю її очищення, активізацією процесів поляризації діелектрика, електростатичною взаємодією та утворенням перехідного шару зі складних оксидів між матеріалами, що з'єднуються.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Отримання перехідного шару зі складних оксидів, посилення електростатичної взаємодії між матеріалами, що з'єднуються, підвищує міцність зварних з'єднань, однак експериментальних і теоретичних даних для керування цими процесом ще недостатньо.

**Постановка завдання.** Дослідження факторів, що дозволять оптимізувати процеси утворення перехідного шару зі складних оксидів та електростатичної взаємодії між матеріалами, що з'єднуються.

**Викладення основного матеріалу.** Досліджено вплив хімічного очищення діелектрика перед зварюванням на процеси утворення перехідного шару зі складних оксидів та електростатичної взаємодії між матеріалами, що з'єднуються.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що хімічне комбіноване очищення діелектрика перед зварюванням дає змогу створити на діелектрику приповерхневий шар із кислотними властивостями і високоомну плівку, які посилюють окислювально-відновлювальну реакцію та електростатичну взаємодію між матеріалами, що з'єднуються.

**Ключові слова:** зварювання; очищення; діелектрик; окислювально-відновлювальна й електростатична взаємодія; міцність зварного з'єднання.

Табл.: 2. Рис.: 5. Бібл.: 10.

**Актуальність проблеми.** Для виготовлення прецизійних приладів, наприклад лазерних гіроскопів, необхідно до моноблока із ситалу СО-115 М герметично приварити катод з алюмінію А999. Такі прилади часто працюють у важких умовах (вібрації, удари, перепади температур тощо), тому до зварних з'єднань у таких випадках висувають жорсткі технічні вимоги для їх виготовлення.

**Постановки проблеми.** Якість зварювання діелектриків з алюмінієм в електричному полі високої напруги в атмосфері повітря (ЗЕП) залежить від багатьох факторів: величини мікросорсткості поверхні діелектрика, якості її очищення, повноти реалізації процесів поляризації в діелектрику, інтенсивності електростатичної взаємодії, утворення перехідного шару з складних оксидів між матеріалами, що з'єднуються, тощо. Однак сучасний експериментально-теоретичний досвід не дозволяє повною мірою керувати цими процесами. Дослідження основних факторів, які відповідають за оптимізацію процесів утворення перехідного шару зі складних оксидів та електростатичної взаємодії між матеріалами, що з'єднуються, забезпечать підвищення якості зварних з'єднань [1; 2].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У попередніх дослідженнях [3; 4] встановлені особливості утворення зварного з'єднання при використанні ЗЕП. Надана гіпотеза механізму утворення зварного з'єднання діелектрика з металом, яка передбачає такі стадії процесу:

- фізична взаємодія – утворення фізичного контакту між поверхнями, що зварюються за рахунок електронної, іонної та дипольної поляризацій діелектрика;
- хімічна взаємодія – термоелектрична активація поверхонь та встановлення хімічних зв'язків між поверхнями, що з'єднуються, і утворенням нероз'ємного з'єднання;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

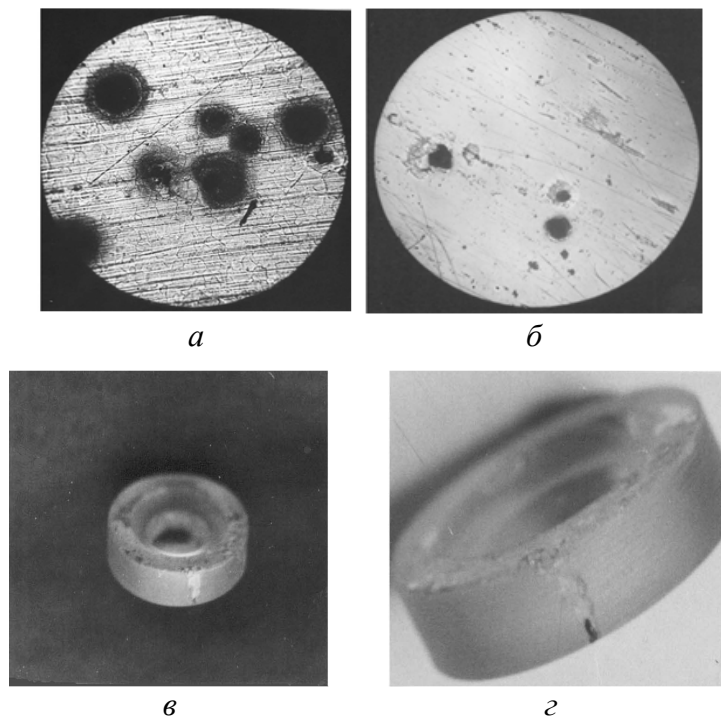
- об'ємна взаємодія – зміцнення з'єднання за рахунок реалізації в діелектрику міграційної поляризації та утворення перехідного шару з комплексних сполук за рахунок протікання електрохімічних реакцій між поверхнями, що з'єднуються.

Отримання чистої поверхні діелектрика, яка повинна мати мікросорсткість  $R_a \leq 0,02$  мкм, є необхідною умовою якісного зварного з'єднання, але не достатньою. Основними чинниками, від яких буде залежати максимальна якість зварного шва, це повнота проходження процесів:

- поляризації в діелектрику і пов'язаною з цим електростатичною взаємодією між матеріалами, що зварюються;

- утворення перехідного шару з комплексних сполук за рахунок електрохімічної взаємодії між поверхнями, що з'єднуються, в основі якої лежить кислотно-відновлювальна реакція.

При використанні зовнішніх електричних полів суттєвий негативний вплив на з'єднання матеріалів можуть мати іонізаційні процеси [5; 6]. Проведені попередні дослідження показали, що під час зварювання у площині зварювання (між діелектриком і алюмінієм) можуть достатньо активно реалізуватися іонізаційні й електророзрядні процеси, які заважають встановленню фізичного контакту (рис. 1, а, б). Активність цих процесів може бути настільки великою, що утворюються поверхневі струми, відбувається місцеве руйнування діелектрика і при неправильно вибраних температурі зварювання й величині електричної напруги фізичний контакт між поверхнями, що зварюються, не утворюється і взагалі відбувається повне порушення процесу зварювання (рис. 1, в, г).

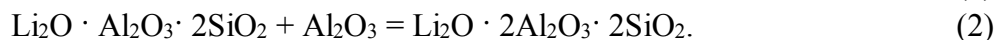


*Рис. 1. Сліди дії іонізаційних і електророзрядних процесів під час зварювання у випадку неправильно вибраних параметрів температури й величини електричної напруги зварювання:*

*а – у площині зварювання фізичний контакт взагалі не утворився (x140); б – у локальних місцях утворюються непровари (пропали); в, г – сліди дії електричних розрядів, відповідно на торцевій та боковій поверхнях ситалу*

Встановлено [6], що після зварювання в електричному полі ситалу СО-115М з алюмінієм, у перехідній зоні, що досліджувалася розпиленням у середовищі аргону з використанням електронного мікроскопу (x15000), зафіксовано перехідну зону з комплекс-

них сполук. Ситал СО-115М відноситься до системи  $\text{Li}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$ , а на поверхні алюмінію присутня плівка  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (амфотерний оксид). Під час зварювання між поверхнями, що з'єднуються, протікають реакції:



Перехідна зона, що утворюється під час зварювання, являє собою шарової речовини зі складних оксидів:  $\text{Li}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ,  $\text{Li}_2\text{O} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ .

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Процесами електростатичної та об'ємної взаємодій при ЗЕП в основному керують за рахунок відповідних значень параметрів температури й напруженості електричного поля (термоелектрична активація). Для покращення якості з'єднань при ЗЕП необхідні знання інших факторів, які б дозволили більш оптимально курувати вказаними процесами, наприклад: керування процесами електростатичної взаємодії між матеріалами, що зварюються, за рахунок зменшення впливу іонізаційних процесів; інтенсифікація процесу утворення перехідного шару на онові кислотно-відновлювальної реакції між поверхнями, що з'єднуються, тощо.

**Мета статті.** У роботі ставилося за мету дослідити вплив хімічного очищення ситалу не тільки на якість очищення поверхні діелектрика під час зварювання, але й пов'язати це з процесами іонізації в зоні зварювання та утворенням перехідного шару між матеріалами, що зварюються.

**Виклад основного матеріалу.** Для вирішення поставлених питань було досліджено 16 варіантів мийних засобів для ситалу СО-115М (табл. 1).

Таблиця 1

*Зміст компонентів у розчинах [ $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ ], (%) мийних засобів, що використовувалися*

Номер мийного засобу	Хімічний склад
1	Чотирьоххлористий вуглець – $\text{CCl}_4$ , (100)
2	Ацетон технічний – $\text{CH}_3 \cdot \text{CH} \cdot \text{CH}_3$ , (100)
3	Бензол – $\text{C}_6\text{H}_6$ ; (100)
4	Хлороформ – $\text{CHCl}_3$ , (100)
5	$\text{KOH}$ [25]
6	$\text{NaOH}$ (20)
7	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [99]+ $\text{H}_2\text{SO}_4$ , густина 1,84, 100 мл
8	Мийний засіб “Лотос М” [70]
9	$\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [50]+ $\text{KOH}$ [10]+ $\text{Na}_2\text{CO}_3$ [20]+рідке скло
10	$\text{TMC} - 31$ [80]
11	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [99]+ $\text{H}_2\text{SO}_4$ , густина 1,84; 300 мл+дист. $\text{H}_2\text{O}$ , 4000 мл
12	$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [99]+ $\text{H}_2\text{SO}_4$ , густина 1,84; 300 мл+дист. $\text{H}_2\text{O}$ , 400 мл
13	$\text{HNO}_3$ (68)
14	$\text{HF}$ (5)
15	$\text{HF}$ (1)
16	$\text{H}_2\text{SO}_4$ , густина 1,84

Для визначення якості очищення поверхні ситалу використовували методи: розриву водної плівки; лежачої краплі (визначення краєвого кута змочування); зміни маси до та після очищення зразків; виявлення наявності забруднень на поверхні за методом профілографування; візуальний огляд неозброєним оком, а також за допомогою мікроскопа МБС-9 (x16). Оскільки на міцність зварного з'єднання значно впливає величина мікросорсткості поверхонь, що зварюються, тому паралельно з визначенням якості очищення визначалася зміна мікросорсткості поверхні ситалу до та після очищення (наприклад, збільшення мікросорсткості можливе за рахунок розтравлення поверхні). Для вимірювання величини мікросорсткості використовувався профілограф-профілометр типу А1 моделі 252.

Встановлено, що для забезпечення якісного очищення потрібно використовувати комбіноване очищення (перевірено 20 схем комбінованого очищення ситалу, табл. 2).



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

З погляду забезпечення найбільшої міцності зварного з'єднання, при забезпеченні якісного очищення за вибраними критеріями [7], є такі варіанти очищення:

- органічний розчин (технічний ацетон) – лужний розчин ( $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [50] +  $\text{KOH}$ [10] +  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ [20]+рідке скло) – хромова суміш ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [99]+ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), ([ ] – зміст компонентів у розчинах,  $\text{г} \cdot \text{л}^{-1}$ );

- органічний розчин (технічний ацетон) – мийний засіб «Лотос М» [35] – хромова суміш ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ [99]+ $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) + дист.  $\text{H}_2\text{O}$  –  $\text{HF}$  (1%);

- органічний розчин (технічний ацетон) – мийний засіб «Лотос М» [70].

Таблиця 2

## Схеми комбінованого очищення ситалу

Варіанти	Послідовність операцій і номер мийного засобу (в дужках) за таблицею 1				
	Очищення		Промивання у воді		Сушіння
	Органічний розчинник	Хімічний розчин	Гаряча	Холодна	
1	1(3); 3(2)	5(7);8(16)	6	7,9	2,4;10
2	1(2)	3(9);6(12)	4;7	5,8	2,9
3	1(2)	3(10);6(12)	4;7	5,8	2,9
4	1(2)	3(9);6(7)	4;7	5,8	2,9
5	1(2)	3(10);6(7)	4;7	5,8	2,9
6	1(4)	3(8)	4	5	2,6
7	1(4)	3(8);6(11)	4;7	5,8	2,9
8	1(3); 3(1)	5(8);8(13)	6	7,9	2,4;10
9	1(2)	3(8);6(12)	4;7	5,8	2,9
10	1(4); 3(1)	5(8);8(11)	6;9	7;10	2,4;11
11	1(2)	3(9);6(11)	4;7	5,8	2,9
12	1(2)	3(8);6(7)	4;7	5,8	2,9
13	1(2)	3(8);6(12); 9(15)	4;7	5,8;10	2;11
14	1(2)	3(6);6(14)	4	5,7	2,8
15	1(2)	3(8)	4	5	2,6
16	1(2)	3(5);6(13)	4	5,7	2,8
17	1(4); 3(1)	5(8);8(16)	6	7,9	2,4;10
18	1(4); 3(1)	5(8);8(7)	6;9	7;10	2,4;11
19	1(4)	3(9);6(7)	4;7	5,8	2,9
20	1(2)	-	-	-	2

Якість зварних з'єднань визначали за допомогою механічних випробувань на відрив (рис. 2) на спеціально сконструйованій розривній машині. Зусилля відриву визначали за допомогою силовимірювача – динамометричної скоби ДС-02 з індикатором годинникового типу ИЧ-10 (рис. 3).

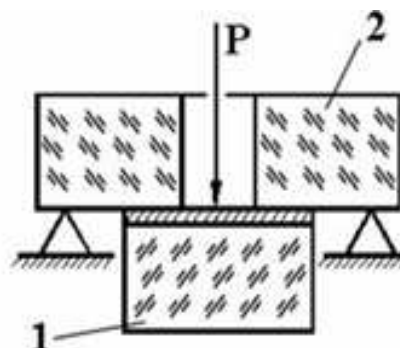


Рис. 2. Принципова схема механічних випробувань на відрив зварних з'єднань ситал-алюміній-ситал:

1 – мембрана; 2 – основний ситал

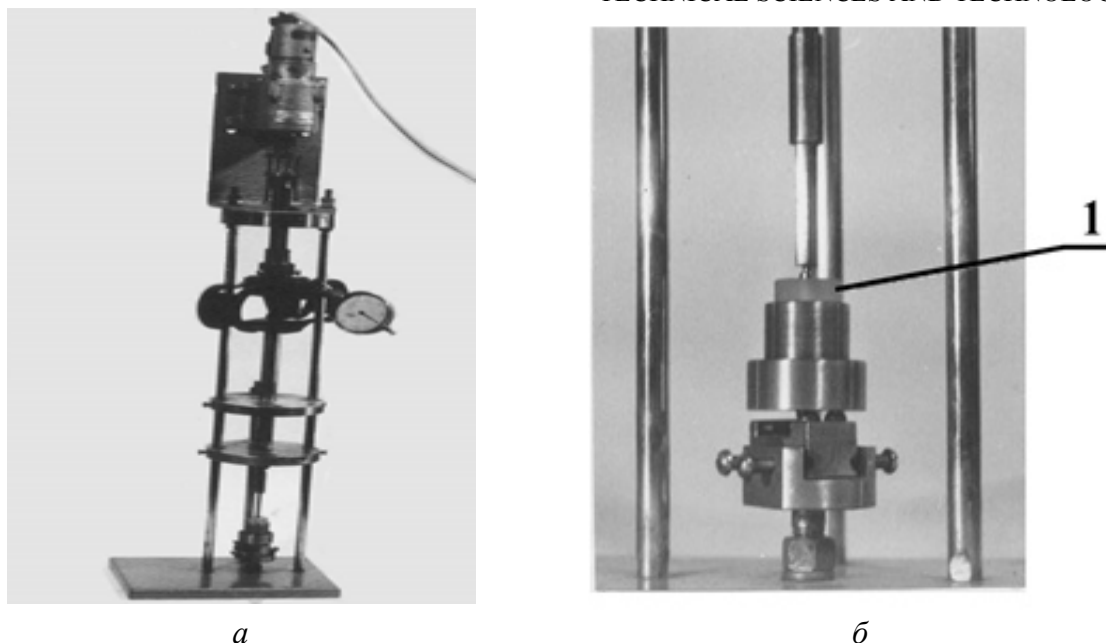


Рис. 3. Установка для механічних випробувань на відрив:  
а – загальний вигляд; б – пристрій для установки вузла 1, що випробується

Після очищення ситалу методом лежачої краплі оцінювали ступінь кислотності його поверхні шляхом нанесення кислих (основних) рідин на поверхні, що досліджувалися [8]. Для визначення крайового кута змочування  $\theta$  використовувалось спеціальне обладнання (рис. 4). Кращим вважається варіант, коли при нанесенні рідини з основними властивостями крайовий кут змочування був найменшим, тобто перед зварюванням поверхня зразка під зварювання мала більшу кислотність.

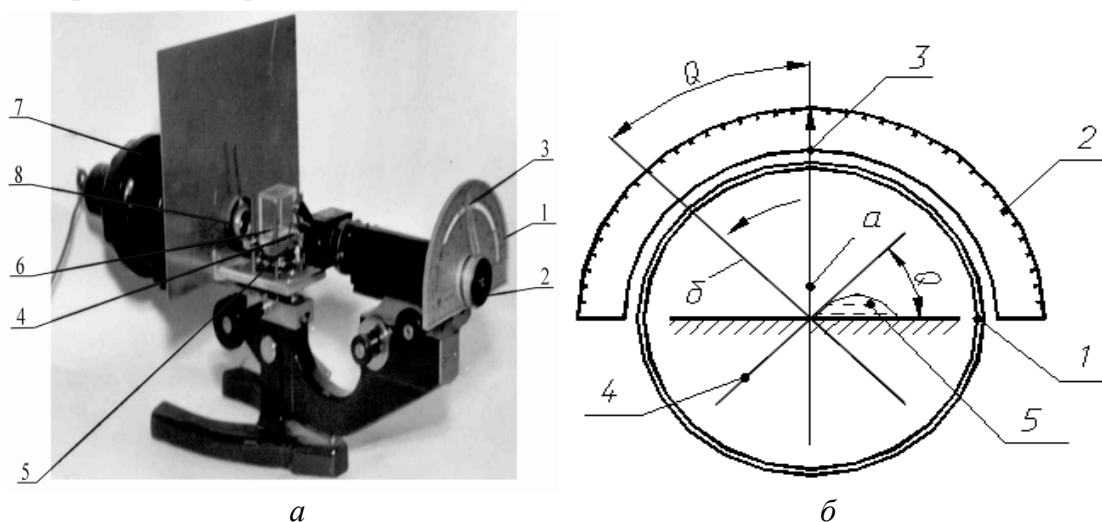


Рис. 4. Установка для визначення крайового кута змочування  $\theta$ :  
а – загальний вид установки: 1 – транспортер; 2 – окуляр; 3 – стрілка на окулярі; 4 – об'єктив;  
5 – предметний столик; б – захисний ковпачок; 7 – освітлювач; 8 – діафрагма;  
б – схема вимірювання крайового кута: 1 – окуляр; 2 – транспортер; 3 – стрілка на окулярі;  
4 – дві взаємоперпендикулярні риски (дотичні) на окулярі (а – початкове положення; б – положення при замірюванні  $\theta$ ); 5 – крапля рідини, що наносилася на поверхню очищеного ситалу

Залежність міцності з'єднання від варіанта комбінованого хімічного очищення ситалу (табл. 2) наведена на рис. 5.

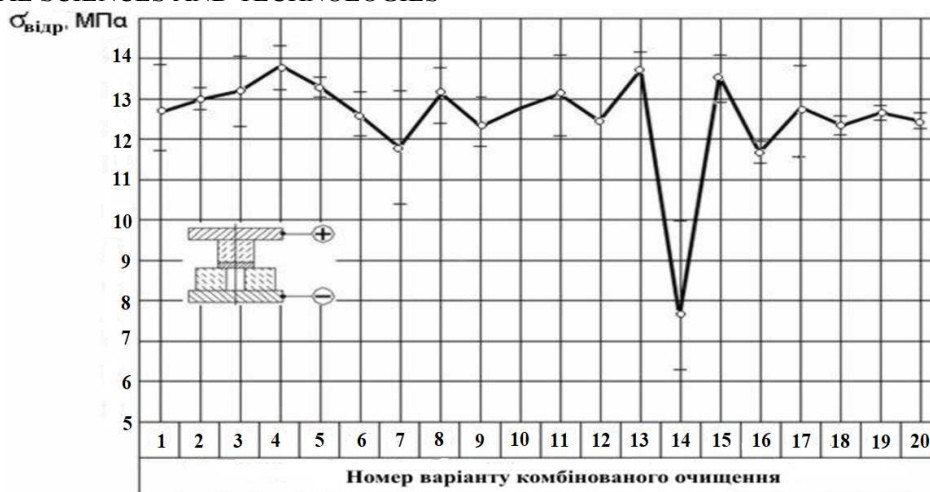


Рис. 5. Залежність міцності з'єднання від варіанту комбінованого хімічного очищення ситалу

Дослідження однократного очищення ситалу показали, що ацетон володіє непоганою здатністю до очищення (варіант 20, рис. 5) за відсутності активного впливу на мікросоротккість і хімічні властивості поверхні ситалу. Тому очищення в ацетоні може використовуватися як базовий для порівняння з іншими мийними засобами на зміну фізико-хімічного стану поверхні, що досліджується.

Хімічне очищення за варіантом 14 з використанням на завершальному етапі очищення 5%-го розчину HF призводить до сильного розтравлювання поверхні ситалу, збільшення її мікросоротккості ( $R_a > 0,02$  мкм). У цьому випадку мали найменшу міцність зварного з'єднання і великий діапазон зміни величини міцності зразків у межах однієї партії зварених складань. У площині зварювання активно реалізуються іонізаційні й електророзрядні процеси (рис. 1).

Найкращі результати по міцності зварних з'єднань мали, коли у процесі хімічного очищення використовувалася суміш сірчаної кислоти ( $H_2SO_4$ ) та дихромату калію ( $K_2Cr_2O_7$ ), варіанти 4 та 13. Окиснювач дихромат калію незначно розтравлює поверхню ситалу переважно в мікробащинах і мікротріщинах рельєфу поверхні, а сірчана кислота рівномірно впливає на поверхню ситалу. Це веде до усунення тріщинуватого шару, що утворюється після шліфування та полірування поверхні ситалу, і практично не веде до суттєвих змін параметра  $R_a$ , який було досягнуто після полірування ситалу. За варіантом 13 присутність 1%-го розчину HF на останньому етапі хімічного очищення дозволяє отримати приповерхневий шар ситалу без мікротріщин, задовільні значення мікросоротккості  $R_a$ , зникають сліди електророзрядних процесів та маємо один із найменших значень крайового кута змочування  $\theta$ .

Найменший кут змочування піж час оцінювання ступеня кислотності поверхні ситалу після очищення мали за варіантом 4 комбінованого очищення (найбільш кислотна поверхня). У цьому випадку на останньому етапі хімічного очищення використовувалась суміш сірчаної кислоти та дихромату калію. Це створює необхідні умови для кислотно-відновлювальної реакції оксидів приповерхневого шару ситалу з  $Al_2O_3$ . Крім того, присутність при очищенні ситалів та скла, які містять лужні метали, сірчаної кислоти забезпечує отримання приповерхневого шару з підвищеним електричним опором за рахунок відбирання води [9]. Така високоомна плівка стає основним діелектриком при електростатичній взаємодії, на який переключується максимальна напруженість електричного поля і виключає можливість розвитку іонізаційних процесів у повітряному просторі між поверхнями, що взаємодіють [10]. Зменшуються витрати електричної потужності в зоні зварювання за рахунок зменшення поверхневої електро-

провідності й утворення поверхневих струмів. У такому випадку відсутні сліди пропалів (фізичний контакт утворювався по всій площині контакту матеріалів, що зварювалися). Посилюється електростатична взаємодія між поверхнями, що з'єднуються. Отримані результати можуть бути ще одним підтвердженням, що електрична активація при ЗЕП є основним видом при загальній термоелектричній активації процесу.

Дослідження показали, що величина крайового кута змочування  $\theta$ , а значить і фізико-хімічні властивості поверхні, визначаються не тільки розчинами, що використовувалися на останньому етапі очищення, а є результатом комплексної дії усіх мийних засобів у межах варіанта комбінованого очищення. Здебільшого результуюче значення  $\theta$  є проміжним між значеннями, яке характеризує поверхню після дії кожного окремого розчину, що входили до комбінованого варіанта. Водночас треба правильно вибрати варіант комбінованого очищення (послідовність використання розчинів) та розчин, який треба задіяти на останньому етапі очищення діелектрика.

#### **Висновки відповідно до статті.**

1. Підтверджено гіпотезу механізму утворення зварного з'єднання діелектриків із металами при зварюванні в електричному полі високої напруги, а саме, що основними етапами утворення зварного з'єднання є електростатична взаємодія та окислювально-відновлювальна реакція між матеріалами, що зварюються.

2. Електрична енергія під час зварювання в електричному полі є основним видом активації, при загальній термоелектричній активації процесу.

3. Встановлено вплив хімічного очищення ситалу перед зварюванням на процеси електростатичної взаємодії, за рахунок впливу на іонізаційні процеси в зоні зварювання та утворення перехідного шару між матеріалами, що зварюються, за рахунок впливу на ступінь кислотності приповерхневого шару ситалу.

4. Визначено оптимальний варіант очищення ситалу перед зварюванням, який, крім якісного очищення, забезпечує кислотні властивості поверхні діелектрика перед наступним зварюванням з алюмінієм, зменшує електричні втрати в зоні зварювання, оптимізує електростатичну взаємодію між поверхнями, що з'єднуються, і дозволяє отримати якісне зварне з'єднання.

#### **Список використаних джерел**

1. К вопросу электроадгезионного соединения некоторых материалов электронной техники / В. А. Варенцов, В. А. Пиходченко, В. Н. Таиров, Г. М. Дзюбенко, В. З. Шаповал, А. П. Коржавый // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1983. – Вып. 10 (183). – С. 57–59.

2. Хоменко Н. Н. Получение неразъемных соединений кремния с материалами / Н. Н. Хоменко. – Чернигов : ВСНТО, 1986. – 67 с.

3. Шлифер С. Е. Использование экзоелектричного эффекта при соединении германия и кремния со стеклом в электрическом поле / С. Е. Шлифер, В. П. Антонов, А. Г. Браун // Достижения и перспективы развития диффузионной сварки : материалы XII Всесоюзной науч.-техн. конф. – М., 1987. – С. 124–128.

4. Березін Л. Я. Особливості механізму утворення зварних з'єднань при зварюванні в електричному полі високої напруги / Л. Я. Березін // Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (Чернігів, 24-27 квітня, 2017 р.) : збірник матеріалів VII Міжнародної наук.-практ. конф. : тези докл. – Чернігів, 2017. – С. 59–61.

5. Хоменко Н. Н. Влияние некоторых факторов на технологичность и надежность соединений кремния со стеклом / Н. Н. Хоменко // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1983. – Вып. 11 (184). – С. 75–77.

6. Хоменко Н. Н. Свойства соединений стекла с кремнием, полученного сваркой в электростатическом поле высокого напряжения / Н. Н. Хоменко, О. В. Гнатюк // Сварочное производство. – 1982. – № 12. – С. 22–23.

7. Варенцов В. А. Исследование границы электроадгезионных соединений некоторых материалов электронной техники / В. А. Варенцов., А. П. Коржавый, В. Ф. Бритун // Электронная техника. Сер. Материалы. – 1983. – Вып. 3(185). – С. 36–39.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Обработка поверхности и надежность материалов / под ред. Дж. Бурке, Ф. Вайса ; пер. англ. Э. М. Лазарева и др. ; под ред. О. А. Банных ; [Парриш П., Херглотц Х., Хадсон Дж. и др.]. – М. : Мир, 1984. – 132 с. : ил.

9. *Стевелс Дж.* Электрические свойства стекла / Дж. Стевелс. – М. : Иностранная литература, 1961. – 89 с.

10. *Косогова Н. П.* Исследование сил притяжения в электростатических крепежных устройствах : дис. ... канд. техн. наук / Н. П. Косогова. – Л., 1972. – 182 с.

## References

1. Varentsov, V. A., Pihodchenko, V. A., Tairov V. N., Dzyubenko, G. M., Shapoval, V. Z., Korzhaviy, A. P. (1983). K voprosu elektroadgezionnogo soedineniia nekotorykh materialov elektronnoi tekhniki [To the question of electro-adhesion connection of some materials of electronic technique]. *Elektronnaiia tehnika – Electronic technique. Series Materials, 10*, 57–59 [in Russian].

2. Homenko, N. N. (1986). *Poluchenie nerazemnykh soedinenii kremniia s materialami [Receiving one-piece compounds of silicon with materials]*. Chernigiv: VSNTO [in Russian].

3. Shlifer, S. E. (1987). Ispolzovanie ekzoelektretного эффекта pri soedinenii germaniia i kremniia so steklom v elektricheskom pole [Using of ekzoelektretny effect for connection of germanium and silicon with glass in the electric field]. Proceeding from *Dostizheniia i perspektivy razvitiia diffuzionnoi svarki: materialy XII Vsesoiuznoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii – Achievements and prospects of development of diffusive welding: materials of the 12th All-Union scientific and technical conference* (pp. 124–128). Moscow [in Russian].

4. Berezin, L. Ya. (2017). Osoblyvosti mekhanizmu utvorennia zvarnykh ziednan pry zvariuvanni v elektrychnomu poli vysokoi napruhy [Features of the mechanism of the formation of a welding joint in an electric field of high voltage]. *Kompleksne zabezpechnnia yakosti tekhnologicnykh protsesiv ta system: sbirnyk materialiv VII mizhnarodnoi naukovopraktychnoi konferentsii – Comprehensive securing of the quality of technological processes and systems: materials of the VII International scientific and practical conference* (pp. 59–61). Chernihiv [in Ukrainian].

5. Homenko, N. N. (1983). Vliianie nekotorykh faktorov na tehnologichnost i nadezhnost soedinenii kremniia so steklom [Influence of some factors on technologicalness and reliability of connections of silicon with glass]. *Elektronnaiia tehnika – Electronic technique. Series Materials, 11*, 75–77 [in Russian].

6. Homenko, N. N., Gnatyuk, O. V. (1982). Svoistva soedinenii stekla s kremniem, poluchennogo svarkoy v elektrostatičeskom pole vysokogo napriazheniia [Properties of connections of glass with Silicon obtained by welding in high-voltage electrostatic field]. *Svarochnoe proizvodstvo – Weldingproduction, 12*, 22–23 [in Russian].

7. Varentsov, V. A., Korzhavii, A. P., Britun, V. F. (1983). Issledovanie granitsy elektroadgezionnykh soedinenii nekotorykh materialov elektronnoi tekhniki [Research of the electroadhesion connections boundary of the some electronic techniques materials]. *Elektronnaiia tehnika – Electronic technique. Series Materials, 3*, 36–39 [in Russian].

8. Burke, Dzh., Vaissa, F. (Eds.). (1984). *Obrabotka poverhnosti i nadezhnost materialov [Processing of a surface and reliability of materials]*. Moscow: Mir [in Russian].

9. Stevels, Dzh. (1961). *Elektricheskie svoistva stekla [The electric properties of the glass]*. Moscow: Inostrannaia literatura [in Russian].

10. Kosogova, N. P. (1972). *Issledovanie sil prityazheniya v elektrostatičeskikh krepzhnykh ustroistvakh [The research of the attractive power in the electrostatic fastening devices]*. (Doctor's thesis). Leningrad [in Russian].

UDC 621.791:666.1.037.42

*Leonid Berezin, Mikhail Rudenko*

## OPTIMIZATION OF WELDING PROCESS OF DIELECTRICS WITH ALUMINIUM IN THE HIGH VOLTAGE ELECTRIC FIELD

**Urgency of the research.** Use of the welding in a high voltage electric field for the manufacture of precision instruments, such as laser gyroscopes, which operate under difficult conditions (vibration, shock, temperature variations, etc.).

**Target setting.** Modern knowledge about the peculiarities of the welding by using the high voltage electric field does not allow to fully optimize the welding process and obtain quality weld.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The production of the welding by using the high voltage electric field is related to the micro-roughness of the dielectric surface, the quality of its cleaning, activation of the dielectric polarization processes, electrostatic interaction, and oxides layer between the surfaces of the materials to be welding.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The Obtaining of transitional layer of complex oxides, the enhancement of the electrostatic interaction between materials which connect increases the strength of welded joints, but experimental and theoretical data are not yet sufficient to control this process.

**The research objective.** Research of factors which will allow to optimize processes of formation of a transitional layer of complex oxides and electrostatic interaction between connected materials.

**The statement of basic materials.** The influence of chemical purification of dielectric before welding on the processes of formation of transition layer from complex oxides and electrostatic interaction between materials which connect was investigated.

**Conclusions.** It is established that the chemical combined purification of dielectric before welding allows to create on dielectric a near-surface layer with acid properties and a high-resistance layer which strengthen redox reaction and electrostatic interaction between materials which connect.

Table: 2. Fig.: 5. References: 10.

УДК 621.791:666.1.037.42

Леонід Березин, Михаил Руденко

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА СВАРКИ ДИЭЛЕКТРИКОВ С АЛЮМИНИЕМ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ ВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

**Актуальность темы исследований.** Использование сварки в электрическом поле высокого напряжения для изготовления прецизионных приборов, например, лазерных гироскопов, которые работают в трудных условиях (вибрации, удары, перепады температур и другие).

**Постановки проблемы.** Современные знания об особенностях образования сварного соединения при использовании сварки в электрическом поле высокого напряжения не позволяют полноценно оптимизировать процесс сварки и получать сварные соединения требуемого качества.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Получение качественных сварных соединений сваркой в электрическом поле высокого напряжения связано с величиной микрошероховатости поверхности диэлектрика, качеством ее очистки, активизацией процессов поляризации диэлектрика, электростатического взаимодействия и образованием переходного слоя из сложных оксидов между соединяемыми материалами.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Получение переходного слоя из сложных оксидов, усиление электростатического взаимодействия между соединяемыми материалами повышает прочность сварных соединений, однако экспериментальных и теоретических данных для управления этим процессом еще недостаточно.

**Постановка задачи.** Исследование факторов, которые позволят оптимизировать процессы образования переходного слоя из сложных оксидов и электростатического взаимодействия между соединяемыми материалами.

**Изложение основного материала.** Исследовано влияние химической очистки диэлектрика перед сваркой на процессы образования переходного слоя из сложных оксидов и электростатического взаимодействия между соединяемыми материалами.

**Выводы в соответствии со статьей.** Установлено, что химическая комбинированная очистка диэлектрика перед сваркой позволяет создать на диэлектрике приповерхностный слой с кислотными свойствами и высокоомную пленку, которые усиливают окислительно-восстановительную реакцию и электростатическое взаимодействие между соединяемыми материалами.

**Ключевые слова:** сварка; очистка; диэлектрики; окислительно-восстановительное и электростатическое взаимодействие; прочность сварного соединения.

Табл.: 2. Рис.: 5. Библ.: 10.

**Березин Леонид Якович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сварочного производства та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

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

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

E-mail: berezinl@ukr.net

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0178-2895>

Scopus Author ID: H-6200-2014

**Руденко Михайло Миколайович** – старший викладач кафедри сварочного производства та автоматизованого проектування будівельних конструкцій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Руденко Михаил Николаевич** – старший преподаватель кафедры сварочного производства и автоматизированного проектирования строительных конструкций, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Rudenko Mikhail** – Senior teacher of the Department of Welding and Automated Engineering Design of Building Constructions, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

E-mail: rudenko.bear@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9542-7792>

Scopus Author ID: G-6235-2014

Максим Болотов

## АНАЛІЗ ОСНОВНИХ НЕСТАБІЛЬНОСТЕЙ ТЛІЮЧОГО РОЗРЯДУ СЕРЕДНІХ ТИСКІВ В УМОВАХ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

**Актуальність теми дослідження.** Тліючий розряд середніх тисків знайшов значне поширення в різних технологічних процесах хіміко-термічної обробки, нанесення покриттів, зварювання і паяння тощо.

**Постановка проблеми.** Однак поряд зі сприятливими передумовами виявили й різні види нестабільності газорозрядної плазми, що призводять до відхилення ходу технологічного процесу від заданих параметрів, зумовлених переходом тліючого розряду в електричну дугу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, перші дослідники відзначали часткову або повну втрату стійкості тліючого середніх тисків і переходу його в більш стабільну форму – електричну дугу.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Перехід тліючого розряду в дуговий супроводжується стисненням позитивного стовпа розряду і різким скороченням площі катодної плями на виробі, що призводить до значного збільшення щільності енергії в цій плямі. Контракція (стиснення) позитивного стовпа тліючого розряду призводить до зниження або повного зриву генерації потужності лазерного випромінювання, підвищення щільності енергії в плямі нагріву (катодній плямі) сприяє перегріву і неприпустимому оплавленню окремих ділянок оброблюваних деталей під час зварювання в твердому стані, пайці й хіміко-термічній обробці.

**Мета роботи.** Аналіз гіпотез, що існують на сьогодні в літературі, за допомогою яких їхні автори пояснюють основні причини втрати стійкості потужнострумового тліючого розряду і переходу його в електричну дугу.

**Виклад основного матеріалу.** Нестабільності потужнострумового тліючого розряду вивчалися з погляду процесів, що протікають на катоді та прикатодній області, контракції позитивного стовпа під впливом високих струмів і тисків та впливу зовнішнього ланцюга. Вивчалася контракція позитивного стовпа розряду в аргоні при тисках в інтервалі від одиниць мм рт. ст. до сотень мм рт. ст. у циліндричних трубках діаметром 2,6 і 3,7 см. У результаті було виявлено, що при тисках нижче деякого критичного значення струм практично не контрагував.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що основними причинами нестабільності тліючого розряду є рельєф поверхні катода; хімічний склад катода й газового середовища в міжелектродному проміжку; конструктивні особливості катода; параметри режиму горіння розряду, насамперед значення струму розряду і тиску газу; опір зовнішнього ланцюга, що живить розряд; провідність міжелектродного проміжку.

**Ключові слова:** тліючий розряд; нестійкість; газорозрядна плазма; електрична дуга; контракція позитивного стовпа. Бібл.: 49.

**Актуальність теми дослідження.** Тліючий розряд при середніх тисках 0,1...100 кПа використовують для безпосереднього впливу на оброблюваний матеріал, для отримання електронних та світлових пучків.

У промисловості тліючий розряд при тисках 0,1...1000 Па застосовують для нанесення покриттів катодним розпиленням, травлення кремнію у процесі виробництва мікроелектронних приладів, хіміко-термічної обробки виробів. Проведено лабораторні дослідження процесів осаджування металів з газової фази, які здійснюються при тиску 0,13...6,65 кПа, напрузі на розряді до 1500 В і густині енергії на катоді до 100 Вт/см<sup>2</sup>. Максимальна повна потужність розряду, що використовується в промислових умовах для азотування сталей, досягає 100 кВт.

**Постановка проблеми.** Однак поряд зі сприятливими передумовами були виявлені й різні види нестабільності газорозрядної плазми, що призводять до відхилення ходу технологічного процесу від заданих параметрів, або роблять неможливим його здійснення. Передусім це пов'язано з тим, що за певних умов може відбуватися формозміна тліючого розряду, що супроводжується збільшенням струму і зниженням падіння напруги в міжелектродному проміжку, що є характерною ознакою дугових розрядів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Так, уже в перших роботах, пов'язаних із технологічними застосуваннями тліючого розряду [1; 2] відзначалися певні труднощі, головним чином пов'язані з частковою або повною втратою стійкості тліючого розряду й переходом його в більш стабільну форму – електричну дугу. У найзагальнішому випадку це явище може бути пояснено тим, що самостійний тліючий розряд є проміжною формою газових розрядів і тому за певних умов прагне перейти в більш стійку форму, що характеризується більш низькою напруженістю електричного поля в міжелектродному проміжку, тобто в електричну дугу. Це явище було помічено дослідниками в ла-

бораторних умовах ще задовго до початку технологічного застосування плазми тліючого розряду в дослідно-технологічних і промислових цілях. Відтоді (починаючи з першої половини ХХ століття) ця проблема перебуває в полі зору фахівців і до теперішнього часу є значна кількість робіт, присвячених її вивченню і способам вирішення.

**Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми.** Перехід тліючого розряду в дуговий супроводжується стисненням позитивного стовпа розряду і різким скороченням площі катодної плями на виробі, що призводить до значного збільшення щільності енергії в цій плямі. Конtrakція (стиснення) позитивного стовпа тліючого розряду призводить до зниження або повного зриву генерації потужності лазерного випромінювання [3], підвищення щільності енергії в плямі нагріву (катодній плямі) сприяє перегріву і неприпустимому оплавленню окремих ділянок оброблюваних деталей під час зварювання в твердому стані [4], пайці й хіміко-термічній обробці [5].

**Мета роботи.** Метою роботи є вивчення та аналіз гіпотез, що існують нині в літературі, за допомогою яких їхні автори пояснюють основні причини втрати стійкості потужнострумове тліючого розряду і переходу його в електричну дугу.

**Виклад основного матеріалу.** Нестабільності потужнострумове тліючого розряду вивчалися вченими з погляду процесів, що протікають на катоді та прикатодній області, контракції позитивного стовпа під впливом високих струмів і тисків та впливу зовнішнього ланцюга.

*Вплив на стійкість розряду процесів на катоді та в прикатодній області.* У роботі [6] розглянуто перехід від тліючого розряду до дугового з погляду теплових ефектів на поверхні катода. У разі тліючого розряду щільність катодного струму зі збільшенням тиску газу зростає пропорційно  $P^2$ , в той час як товщина області катодного падіння потенціалу зменшується пропорційно  $P$ . Таким чином, енергія, що припадає на одиницю об'єму області катодного падіння, буде збільшуватися пропорційно  $P^3$ . З цієї причини при високому тиску газу катод може настільки сильно нагріватися, що тліючий розряд перейде в дуговий з утворенням катодної плями й позитивного стовпа дуги. Відповідним охолодженням цьому переходу можна запобігти або пересунути в область більш високої щільності струму.

Стадія переходу від тліючого розряду до дугового описана в роботі Р. Г. Вестберга [7]. При збільшенні струму нормальний тліючий розряд переходить в аномальний і зростає величина катодного падіння потенціалу, що викликає зростання емісії електронів із катода. У свою чергу, зростання емісії призводить до швидкого наростання струму і зменшення напруженості поля в катодній області до її величини в умовах дугового розряду.

Велику роль у формуванні уявлень про механізм переходу тліючого розряду в дуговий зіграла висловлена С. С. Маккоуном [8] ідея про нестабільність аномального тліючого розряду, зумовлена автоелектронною емісією катода. Проти окремих активних ділянок катода створюються області з підвищеною концентрацією зарядів. Володіючи великою рухливістю, електрони швидше покидають ці області, ніж позитивні іони. Утворений унаслідок цього щільний позитивний заряд сприяє подальшому збільшенню автоелектронної емісії на активних ділянках катода. Цей процес взаємного посилення емісії й об'ємного заряду здатний привести до контракції розряду.

Продовжуючи вивчення процесу переходу тліючого розряду в дугу, С. С. Маккоун у роботі [9] досліджував цей процес щодо нормального тліючого розряду при тисках газу 1,33...6,65 кПа. З отриманих автором осцилограм випливає, що навіть коли умови сприятливі для переходу до низьковольтного дугового розряду, такий перехід здійснюється не на кожному напівперіоді хвилі напруги. Виходячи з цього, дослідник зробив висновок, що процес переходу відбувається тільки в певних місцях поверхні катода, де емісія електронів відносно велика. У разі нетугоплавких металів (наприклад, мідь) струми емісії можуть виникнути за рахунок холодної емісії, викликані локалізованим позитивним просторовим зарядом, тобто відповідно до попередньої його теорії.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Механізм утворення локалізованих просторових зарядів пояснюється в роботі [10] таким чином: будь-яка зміна величини  $\gamma$  (де  $\gamma$  – другий коефіцієнт Таунсенда, що характеризує кількість електронів, що падають на один іон, що підійшов до катода) зумовлює в різних точках на поверхні катода більший або менший струм. У місцях забруднень, окалини, окисної плівки робота виходу електронів менше, тому кожен іон вибиває електронів більше, ніж у середньому по катоду. Електронна хмара, що утворюється, сильніше взаємодіє з електричним полем і електрони інтенсивніше віддаляються від катода. Мають, унаслідок підвищеної емісії не вдається отримати тліючий розряд на катодах, покритих плівкою окису або окисдованих алюмінієм. В роботі [11] було помічено, що розряд у цьому випадку має незвичайну структуру: темний простір відсутній, а щільність струму надмірно велика. Цьому розряду було дано назву «розпилений розряд».

У роботі [12] підтверджується, що величина порогового струму, що приводить до утворення дугового розряду, залежить від чистоти металу й наявності на ньому плівок. Особливо істотним цей механізм переходу може виявитися для металів, які важко піддаються очищенню.

Г. Плісс [13], виконуючи досліди з тліючим розрядом, відзначив, що якщо з поверхні катода відбувається випаровування металу в достатніх кількостях, то тліючий розряд може перейти в дуговий. Такий самий результат отримується, якщо в поверхні катода утворюються пари зі стороннього матеріалу. Г. Плісс доходить висновку, що оскільки точка переходу від одного розряду до іншого безпосередньо не залежить від температури катода, а дуговий розряд можливий і при малих струмах між холодними електродами, утворення пари не завжди зумовлено чисто тепловими ефектами. Він описує досліди, в яких на один із двох вольфрамових електродів наносилася сірка; коли катодом служив електрод, покритий сіркою, легко виникав дуговий розряд. Учений підкреслює важливу роль утворення парів металу в поверхні катода і вважає, що таке випаровування металу, мабуть, відбувається з поверхні із сірчаним покриттям.

У роботі [14] описані досліди з мідними електродами в повітрі й інших газах при тиску до 1 атм. Виявилось, що в чистому водні після попередньої фази єдиним стійким видом розряду в діапазоні струмів до 10 А є тліючий розряд. На чистій мідній поверхні спалахів дуги не відбувається, але спостерігається зародження дугового розряду на неочищених ділянках електродів. У разі срібних електродів неможливо отримати ніякої іншої форми розряду, крім тліючого. Стабільний дуговий розряд спостерігається в чистих газах на катодах з графіту. Науковці вважають, що ці результати вказують на важливу роль оксидних плівок для випадку утворення холодної катодної дуги.

У роботі [15] повідомляється про експерименти, які підтверджують дані попередньої роботи для мідних електродів. Між знову зачищеними електродами виникав тліючий розряд. Наступні запалювання розряду на цих самих електродах приводили до виникнення стійкої дуги. Такий самий результат виходив і при попередньому окисленні електродів. Новим виявився результат, отриманий при очищенні міді за допомогою дихромату калію; у цьому випадку легко виникав дуговий розряд. Після обробки азотною кислотою виникає тліючий розряд. Г. Д. Кобіне зазначає, що після очищення дихроматом калію на електродах спектроскопічно виявляється присутність калію, причому навіть після ретельного промивання водою. Автор висловлює припущення, що поряд з оксидним механізмом на виникнення дугового розряду може впливати і присутність на катоді матеріалу з низькою роботою виходу, такого, як калій.

Енгель та Штенбек [16] розвинули кількісну теорію процесу переходу тліючого розряду в дуговий, ввівши в розгляд поряд із вторинними електронами, що вириваються іонами з катода, термоелектрони, утворені за рахунок термоіонної емісії. У цьому випадку електричний струм катода складається зі струму, зумовленого вторинними електронами і струму термоіонної емісії.

За цією теорією дуговий розряд між електродами з менш тугоплавких металів, ніж вольфрам, не може підтримуватися процесом термоіонної емісії катода. Згідно з [17] механізм термоіонної емісії для вольфрамового катода починає відігравати суттєву роль з температури приблизно 2000 °С.

У статті [18] розглянуто зв'язок між термоіонним механізмом перехідного процесу й механізмом емісії полем у разі вольфрамового катода. Коли температура катода досягає значень, за яких стає помітною термоіонна емісія, час переходу від тліючого розряду до дугового, вимірний по різкому падінню напруги на розрядній трубці, зростає від  $10^{-8}$  до  $10^{-4}$  сек. Дослідження проводилися в середовищі азоту, водню й аргону.

Деякі дослідники вивчали вплив складу атмосфери на стадію переходу тліючого розряду в дуговий. Так, у [19] описані експерименти з вивчення тліючого розряду і процесів переходу від тліючого розряду до дугового в повітрі, кисні й азоті при тиску 1 атм і у водні при тиску від 1 до 13 атм у різних комбінаціях електродних матеріалів. Як впливає з цих дослідів, тліючий розряд може підтримуватися у водні до струмів 14 А і тисків 13 атм. У водні тліючий розряд досить стабільний. Тліючий розряд у водні при струмі 2 А між мідними електродами існував протягом декількох годин без стрибків напруги. Навіть при 10 А тліючий розряд у цих умовах міг існувати до 15 хв. Щоб досягти таких великих струмів і уникнути переходу тліючого розряду в дуговий, необхідно повільно збільшувати струм розряду. Розряд відбувався між охолоджуваними водою електродами. У більш пізній роботі [20] стверджується, що тліючий розряд можливий при тиску газового середовища не вище 100 мм рт. ст. і лише за рахунок спеціальних заходів цей тиск може бути підвищено.

У роботах [21; 22; 23] розглядається вплив на можливість переходу тліючого розряду в дугову форму. Наявність у зоні нагріву виробів зазорів певного розміру призводить до одночасного існування кількох видів тліючого розряду, що володіють різною провідністю. Зазвичай це нормальний тліючий розряд і розряд у порожнистому катоді. Останній утворюється в зазорах, щілинах і порожнинах, де відбувається злиття негативних тліючих світінь. Осциляція електронів у зоні злиття викликає підвищене утворення іонів і збільшення щільності струму, що змінює режим нагріву. Нагрів у порожнині здійснюється швидше, ніж в інших місцях катода. При цьому товщина тліючого світіння залежить від тиску газу. Допустима величина зазору, за якої не відбувається утворення ефекту порожнистого катода, визначається в [22] як:

$$2d_k \leq \Delta \leq 4d_k, \quad (1)$$

де  $\Delta$  – величина зазора;  $d_k$  – ширина зони катодного падіння потенціалу.

При середніх тисках величина  $d_k$  коливається в межах 0,01...1,3 мм. З розглянутих теорій можна зробити висновок, що в переході тліючого розряду в дугову форму значну роль відіграють електрони емісії. Збільшення електронного струму викликає і зростання сумарного струму розряду, а також призводить до зменшення катодного падіння потенціалу, що є суттєвою ознакою переходу тліючого розряду в електричну дугу. Збільшення сили струму, а отже, і концентрації електронів сприяє збільшенню кількості актів іонізації в позитивному стовпі.

*Контракція позитивного стовпа тліючого розряду.* Стиснення або контракція позитивного стовпа газового розряду проявляється в тому, що струм у розрядній трубці зосереджений у малій області поблизу осі трубки [24; 25]. За певних умов (зі збільшенням тиску газу або потужності) розряд заповнює не всю область, в якій порушується електричне поле, а горить у вигляді одного або декількох вузьких шнурів, не пов'язаних, зазвичай, зі стінками розрядної судини.

Експериментально контрагований розряд досліджувався різними авторами. Так, наприклад, у [26; 27; 28; 29] вивчалася контракція позитивного стовпа розряду в аргоні при

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тисках в інтервалі від одиниць мм рт. ст. до сотень мм рт. ст. у циліндричних трубках діаметром 2,6 і 3,7 см. У результаті було виявлено, що при тисках нижче деякого критичного значення струм практично не контрагував. При тиску ж вище критичного контракція настає при силі струму, що становить частки ампера. Контрагування при поступовому збільшенні сили струму відбувається стрибком, що супроводжується різким зменшенням радіуса області світіння розрядної трубки. Одночасно стрибкоподібно зменшується поздовжня складова електричного поля. Пояснення явища контракції дано в роботі [30]. Розглядається контрагований стан у парах ртуті, які перебувають при тисках досить високих, щоб для розрахунків розряду можна було користуватися наближенням локальної термодинамічної рівноваги. Пояснення полягає в наступному. Температура газу (парів ртуті) на осі розрядної трубки набагато вище температури газу під стінами (у зв'язку з охолодженням стінок трубки). Оскільки тиск газу в трубці постійний, щільність газу поблизу осі трубки нижче, ніж у стінок. Це призводить до зростання електронної температури і, отже, до збільшення швидкості іонізації, тобто до подальшого збільшення електронної щільності. Подібний погляд на природу контракції позитивного стовпа нині поділяється багатьма авторами. У [31; 32; 33] цей підхід використаний для пояснення явища контракції при середніх тисках, коли електронна та газова температури сильно розрізняються. На основі експериментальних даних у цих роботах робиться висновок, що в неконтрагованому стані основним механізмом загибелі заряджених частинок є їх дифузія до стінки трубки з наступною нейтралізацією на стінці.

У роботах [34; 35] контракція при середніх тисках також пояснюється з урахуванням неоднорідності електронної температури й об'ємної загибелі електронів. Однак на відміну від [26; 27] розглядається випадок, коли дифузією електронів нехтувати не можна. Приймається, що джерело електронів зосереджено на осі розряду. Електрони за рахунок дифузії будуть проникати в практично неіонізовані шари газу. Причому, якщо константа швидкості рекомбінації досить велика, то розмір області, зайнятої розрядом, порядку відстані, на яке продифундують заряджені частинки до моменту їх повної рекомбінації. Великі значення коефіцієнта рекомбінації потрібні і для пояснення контракції позитивного стовпа при середніх тисках у припущенні утворення в розглянутих умовах значної кількості молекулярних іонів [36]. При цьому нерівномірний радіальний розподіл температури викликає нерівномірний розподіл щільності важких частинок, яке відповідно до рівняння газового стану зростає від осі до стінок трубки. У силу різкої залежності константи швидкості іонізації атомів і молекул електронним ударом від відношення  $E/N_0$  (де  $E$  – напруженість електричного поля;  $N_0$  – концентрація нейтральних частинок) це призводить до того, що зазначена константа виявляється істотно відмінною від нуля лише у вузькій області поблизу осі розрядної трубки.

При цьому характер радіального розподілу щільності електронів  $n_e$  істотно залежить від відношення між характерним часом об'ємної рекомбінації зарядів заряджених частинок:

$$\tau_{рек} \approx l / \alpha_{pe} n_e \quad (2)$$

і часом їх відходу на стінки в процесі дифузії:

$$\tau_{др} \sim R^2 / 6D_a, \quad (3)$$

де  $\alpha_{рек}$  – коефіцієнт рекомбінації електронів та іонів;  $N_e$  – характерне значення щільності електронів поблизу осі розрядної трубки;  $D_a$  – коефіцієнт амбіполярної дифузії.

У разі  $\tau_{др} \ll \tau_{рек}$  заряджені частинки, що утворюються поблизу центру розрядної трубки, йдуть на стінки. Радіальний розподіл густини електронів  $n_e$  є плавно спадаючою від осі до стінок функцією.

У роботі [37], в якій досліджувався позитивний стовп у чистих інертних газах з малою домішкою азоту при тисках до 200 мм рт. ст. Контракція позитивного стовпа пояснюється переважанням дисоціативної рекомбінації на периферії шнура. При цьому те-

мпература по перетину трубки має непостійний характер. У більш холодних областях можливе утворення молекулярних іонів, тому на периферії зростає швидкість дисоціативної рекомбінації. Заряджені частинки виходять із шнура за рахунок амбіполярної дифузії і рекомбінують на кордонах шнура.

У роботах [38; 39] розглядається контракція в інертних газах з добавкою електронегативних домішок. Ці домішки, як показує досвід [40], підсилюють ефект контракції і знижують струм і тиск, при яких настає шнурування тліючого розряду, що супроводжується стрибкоподібним збільшенням струму. У цьому випадку явище різкого збільшення струму пояснюється [41; 42] поряд із нагріванням газу, загибеллю електронів у результаті процесу прилипання до молекул електронегативної домішки. Рекомбінаційними втратами нехтується.

Таким чином, поява нестійкості позитивного стовпа середніх тисків вже при малій щільності струму, що призводять до контракції, пов'язане з неоднорідним нагріванням газу, з умовами загибелі електронів, а також з кінцевим значенням теплопровідності газу й електронів.

*Вплив зовнішнього ланцюга на стійкість розряду.* До параметрів зовнішнього ланцюга, що живить тліючий розряд, можна віднести струм розряду, напругу, прикладену до електродів, і опір, включений послідовно з розрядом. Причому струм є функцією від величини цього зовнішнього опору. Тому слід розглядати вплив на процес горіння розряду величини зовнішнього опору й напруги, прикладеного до міжелектродного проміжку.

У роботі [43] розглянуто природу нестійкості, що виникає під час переходу розряду від режиму горіння в усьому об'ємі трубки в контрагований стан. Тиск газу вважався постійним і однорідним. Вплив зовнішнього електричного кола враховує співвідношення:

$$\Sigma = iR_{\text{вн}} + El_c, \quad (4)$$

де  $\Sigma$  – електрорушійна сила джерела струму;  $R_{\text{вн}}$  – зовнішній опір;  $E$  – напруженість електричного поля у стовпі;  $l$  – довжина позитивного стовпа.

У розрахунки вводилася величина, що характеризує відношення опору розряду  $R_p$  до зовнішнього опору  $R_{\text{вн}}$ . Запропонований у роботі критерій границі стійкості розряду свідчить, що при струмі  $I$ , тиску газу  $P$  і діаметрі позитивного стовпа  $D$  зовнішній опір  $R_{\text{вн}}$  стабілізує розряд у разі, якщо добуток сили струму розряду на тиск газу менше деякої критичної величини  $(I \cdot P)_{\text{кр}}$ . У свою чергу, величина  $(I \cdot P)_{\text{кр}}$  пов'язана в роботі з параметром  $D \cdot P / 2$  і різними значеннями:

$$\sigma = \frac{1}{1 + \left( \frac{R_p}{R_{\text{вн}}} \right)}. \quad (5)$$

У роботі [44] зроблено висновок, що при  $R_{\text{вн}} = 0$ , тобто при  $\sigma \rightarrow 0$  розряд завжди нестійкий, а при  $\sigma = 1$  – стійкий. Розрахунки, виконані в роботі [45] відповідно до запропонованої методики, дали орієнтовні значення  $R_{\text{вн}} \approx \frac{1}{3} R_p$ , що помітно нижче значень, встановлених експериментально. Це може бути викликано тим, що запропонований критерій не пов'язаний із внутрішніми параметрами розряду (родом газу, формою і матеріалом електродів, межелектродною відстанню тощо). І тим більше не пов'язаний із причинами появи нестійкостей, які можуть сприяти переходу тліючого розряду в дуговий і при  $(I \cdot P) < (I \cdot P)_{\text{кр}}$ .

Якісно механізм нестійкості позитивного стовпа за наявності зовнішнього опору, вивчений у [46], пояснюється таким чином. Незначне збільшення електронної щільності в будь-якому місці неконтрагованого розряду призводить до додаткового нагрівання газу, яке супроводжується розширенням газу і зменшенням його щільності, що, у свою чергу, призводить до підвищення електронної температури і, як наслідок, до зростання швидкості іонізації, і значить, до подальшого зростання обурення електронної щільності, що виникло в початковий момент часу. Одночасно зі збільшенням електронної

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

щільності збільшиться і струм у ланцюзі розрядної трубки, що призведе до збільшення падіння напруги на зовнішньому опорі і, отже, до зменшення напруженості електричного поля всередині стовпа. Зменшення  $E$  приведе до зменшення електронної температури, що, у свою чергу, сповільнить наростання електронної лавини. Тобто видно, що зовнішнє опір виконує функцію стабілізуючого фактора.

У роботі [47] розглядається стійкість стаціонарного стану розряду за наявності зовнішнього опору з урахуванням зміни поперечного перерізу розряду. Зміну напруги на розряді в момент флуктуації автор записує як:

$$dV = S_{\perp} R_{\text{ен}} dj_o, \quad (6)$$

де  $dV$ ,  $dj$  – зміна напруги і щільності струму на розряді в момент флуктуації;  $S_{\perp}$  – поперечний розмір розряду.

Автор розглядає двомірну задачу, коли характерний час руху іона в прикатодній зоні в поздовжньому напрямку порівняно з часом відходу його в поперечному напрямку. Однак ця умова відповідає розряду низького тиску (набагато менше  $133 \text{ Па}$ ), коли протяжність прикатодної зони велика і її можна порівняти з поперечним перерізом розряду, і тому характерна величина  $R_{\text{ен}}$ , визначена згідно з цією методикою, на кілька порядків перевищує ті, що реально використовуються для розрядів середніх тисків ( $0,13 \dots 13,3 \text{ кПа}$ ) в умовах зварювання.

Імпульсна зміна напруги на розрядному проміжку в момент включення джерела живлення при повторному запалюванні розряду викликає різкий нагрів газу на осі розряду й появу ударної хвилі іонізації, що приводить до контракції тліючого розряду і подальшого утворення дугового розряду. Це відбувається при запалюванні розряду в холодному газі при  $\frac{du}{dt} \geq 10^8 \text{ В/сек}$  [48]. При зниженні швидкості прикладення напруги

до  $\frac{du}{dt} \approx 10^6 \text{ В/сек}$  і нижче за певних умов вдається отримати тліючий розряд.

Таким чином, можна констатувати помітну роль зовнішнього опору в забезпеченні стійкості тліючого розряду, у тому числі й в умовах зварювання і паяння. Без зовнішнього опору розряд буде нестійкий. Проте вибір величини цього опору проводиться, як правило, практичним шляхом за допомогою проведення досліджень, що затягує процес відпрацювання технології і може призводити до втрати заготовок унаслідок оплавлення їх електричною дугою, що виникає. Наявні в літературі розрахункові методики визначення величини зовнішнього опору досить трудомісткі, вимагають значної кількості емпіричної інформації, тому точність їх невисока і застосовуватися вони можуть дуже обмежено.

**Висновки відповідно до статті.** З огляду на вищенаведене впливає, що проблема стійкості тліючого розряду є багатофакторною. До основних причин, що сприяють переходу тліючого розряду в електричну дугу, згідно з розглянутими роботами можна віднести:

- рельєф поверхні катода (шорсткість, задирки та ін.);
- хімічний склад катода і газового середовища в міжелектродному проміжку;
- конструктивні особливості катода (габарити, маса, наявність на поверхні щілин і зазорів);
- параметри режиму горіння розряду, насамперед значення струму розряду і тиску газу;
- опір зовнішнього ланцюга, що живить розряд;
- провідність міжелектродного проміжку.

Зважаючи на зазначене також впливає, що автори гіпотез неоднозначно визначають значущість вказаних факторів у процесі стабілізації тліючого розряду. Зокрема, у роботах [48; 19], присвячених впливу величини тиску газу в розрядній камері, наведені критичні значення тиску, відповідні стійкому розряду, що розрізняються на кілька порядків – від  $0,65 \text{ кПа}$  до  $13,3 \text{ кПа}$  і навіть до  $1200 \text{ кПа}$  відповідно. Також значно розріз-

няються в роботах граничні значення струму розряду – від сотих часток ампера [49] до десяти ампер [19]. Що стосується впливу габаритів і маси катода на граничні значення параметрів режиму стійкого горіння тліючого розряду, то тут думки дослідників виявилися взагалі суперечливі [22; 39]. Ймовірно, настільки істотні розбіжності в результатах викликані різними умовами проведення досліджень.

Перераховані вище фактори, що сприяють формозміни тліючого розряду, можуть бути враховані відповідними технологічними та конструктивними заходами, які випробувані й узагальнені в деяких джерелах, а саме:

- відповідна підготовка поверхні деталей механічною та хімічною обробкою;
- конструктивне видалення з поверхні катода в зоні дії тліючого розряду щілин і зазорів критичного розміру;
- видалення із зони дії розряду органічних речовин, що сприяють значному зниженню ефективного потенціалу іонізації газового середовища й підвищення провідності міжелектродного проміжку;
- відповідний вибір величини баластного опору.

Однак, як показує досвід застосування тліючого розряду в умовах зварювання, навіть при дотриманні зазначених заходів в міжелектродному проміжку можуть формуватися як короткочасні нестійкі, так і потужні стійкі дугові розряди. Це свідчить про те, що у специфічних умовах зварювання в тліючому розряді, пов'язаних з формою і розташуванням електродів, режимами горіння тліючого розряду, відмінними від використовуваних в більшості наведених досліджень, діють додаткові фактори, що знижують стійкість тліючого розряду, невраховані і невивчені дослідниками в тих експериментальних умовах, в яких до теперішнього часу розглядалася дана проблема. Виявлення цих факторів вимагає проведення додаткових досліджень в умовах, відповідних натурних умов процесу зварювання.

#### Список використаних джерел

1. *Использование энергии тлеющего разряда в качестве источника тепла для пайки* / А. М. Большова // Пайка в машиностроении. – М. : МАТИ, 1974. – С. 136–138.
2. *Ванин В. С. Сварка и пайка металлов в тлеющем разряде* / В. С. Ванин // Автоматическая сварка. – 1962. – № 4. – С. 23–25.
3. *Прокошкин Д. А. Исследование силицирования молибдена в тлеющем разряде* / Д. А. Прокошкин, Б. Н. Арзамасов, Е. В. Рябенко // Свойства и применение жаропрочных сплавов. – М. : Наука, 1966. – С. 89.
4. *Котельников Д. И. Технологические особенности применения тлеющего разряда при сварке* / Д. И. Котельников // Технология и организация производства. – 1976. – № 7. – С. 57–59.
5. *Бабад–Захряпин А. А. Химико-термическая обработка в тлеющем разряде* / А. А. Бабад–Захряпин, Г. Д. Кузнецов. – М. : Атомиздат, 1975. – 176 с.
6. *Engel A. Über die Glimmentladung bei hohen Drucken* / Engel A., Seeliger R., Steenbeck M. // Zs.f. Phys. – 1933. – 85. – P. 144–160.
7. *Westberg R. G. Nature and Role of Ionizing Potential Space Waves in Glow-to-Arc Transitions* / Westberg R. G. // Physical Review Journal. – 1959. – Vol. 114, Iss. 1. – P. 1–17.
8. *Мышенков В. И. Контракция газового разряда (обзор)* / В. И. Мышенков // Институт проблем механики АН СССР. – М., 1974. – С. 35.
9. *Мышенков В. И. Стабилизирующее влияние процессов турбулентного переноса на ионизационную неустойчивость тлеющего разряда* / В. И. Мышенков, Г. М. Махвиладзе // Физика плазмы. – 1978. – Т. 4. – С. 411–418.
10. *Лифшиц Е. М. Физическая кинетика* / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский. – М. : Наука, 1979. – 360 с.
11. *Мак-Дональд А. Д. Сверхвысокочастотный пробой в газах* / А. Д. Мак-Дональд ; пер. с англ. М. М. Савченко и А. Г. Франк ; под редакцией М. С. Рабиновича. – М. : Мир, 1969. – 213 с.
12. *Maxfield F.A., Fredenhall J.L.* // J. Appl. Phys. – 1938. – № 9. – P. 600–610.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

13. *Plesse H.* Untersuchungen am elektrischen Lichtbogen / H. Plesse // *Annalen der Physik.* – 1935. – Vol. 414, Issue 5. – P. 473-499. DOI: <https://doi.org/10.1002/andp.19354140504>.
14. *Suits C.G.* Role of Oxidation in Arc Cathodes / Suits C.G., Hocker J.P. // *Phys. Rev.* – 1938. – № 53. – P. 670. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.53.670>.
15. *Cobine G. D.* Effects of Oxides and Impurities on Metallic Arc Reignition / Cobine, J. D. // *Phys. Rev.* – 1938. – № 53. – P. 911. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.53.911>.
16. *Энгель А.* Физика и техника электрического разряда в газах / А. Энгель, М. Штейнбек. – М. – Л. : ОНТИ, 1936. – 324 с.
17. *Druyvesteyn M. J.* Übergang von der Glimmentladung zum Bogen in Edelgasen / Druyvesteyn, M. J. // *Zs. f. Phys.* – 1932. – Vol. 73. – P. 727-731. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01344220>.
18. *Garosi G.* Response of weakly ionized plasma to turbulent gas / Garosi G., Bekefi G., Schyzt M. // *Ann. d. Phys.* – 1970 – Vol. 13. – P. 2795-2802.
19. *Hsu Y. F.* The Transition from Glow Discharge to Arc / Hsu Yun Fan // *Phys. Rev.* – 1939 – Vol. 55. – P. 769–775. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.55.769>.
20. Сварка разнородных металлов и сплавов / В. Р. Рябов, Д. М. Рабкин, Р. С. Курочко, Л. Г. Стрижевская. – М. : Машиностроение, 1984. – 239 с.
21. *Thompson D. G.* The Vibrational Excitation of Molecules by Electron Impact // *Advances in Atomic and Molecular Physics.* – 1983. – Vol. 19.– Pp. 309–343.
22. *Газовые лазеры* : [сборник статей / под ред. чл.-кор. АН СССР Р. И. Солоухина и д-ра физ.-мат. наук В. П. Чеботаева. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1977. – 360 с.
23. *Галант В. Е.* Основы физики плазмы / Галант В. Е., Жилинский А. П., Сахаров С.А. – М. : Атомиздат, 1977.
24. *Tomkins F. S.* Hyperfine Structure in the Spectrum of Np237 / F. S. Tomkins // *Physical Review Journal.* – 1948. – Vol. 73. – P. 1214–1215. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.73.1214.2>.
25. *Елецкий А. В.* Сжатие положительного столба тлеющего разряда / А. В. Елецкий, В. М. Смирнов // *Журнал технической физики.* – 1970. – Т. 40, вып. 8. – С. 1682–1684.
26. *Зыкова Н. М.* Теплофизика высоких температур / Н. М. Зыкова, Т. С. Куракина, А. А. Сафонов. – 1975. – Т. 13, № 3. – С. 630–633.
27. *Bolotov G. P.* Modification of Materials Surface Layers by Low-Energy Ion Irradiation in Glow Discharge / G. P. Bolotov, M. G. Bolotov, M. M. Rudenko // *IEEE 36th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2016”.* – April 2016. – P. 135–140.
28. *Баранов В. Ю.* Сжатие положительного столба тлеющего разряда / В. Ю. Баранов, К. Н. Ульянов // *Письма в ЖТФ.* – 1967. – № 6. – С. 622.
29. *Голубев В. С.* Тлеющий разряд повышенного давления / В. С. Голубев. – М. : Наука, 1990. – 333 с.
30. *Напартович А. Л.* Механизмы неустойчивости тлеющего разряда повышенного давления / А. Л. Напартович, А. Н. Старостин // *Химия плазмы.* – 1979. – Вып. 6. – С. 153.
31. *Elenbuas W.* The High Pressure Mercury Vapour Discharge / W. Elenbuas. – Amsterdam: Published by North-Holland Publishing, Netherlands, 1951. – 1497 p.
32. *Елецкий А. В.* Неустойчивости в плазме газового разряда / А. В. Елецкий, А. Т. Рахимов // *Химия плазмы.* – 1974. – Вып. 4. – С. 123.
33. *Недоспасов А. В.* Колебания и неустойчивости низкотемпературной плазмы / А. В. Недоспасов, В. Д. Хайт. – М. : Наука, 1979. – 189 с.
34. *Bolotov G.P.* Hollow cathode glow discharge as a heating source in welding and brazing / G. P. Bolotov, M. G. Bolotov I. V. Nahorna // *2017 IEEE 1<sup>st</sup> Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2017.* – P. 1197–1202. DOI: [10.1109/UKRCON.2017.8100441](https://doi.org/10.1109/UKRCON.2017.8100441).
35. Елецкий А. В. Явления переноса в слабоионизированной плазме / А. В. Елецкий, Л. А. Палкина, Б. М. Смирнов. – М. : Атомиздат, 1975. – 369 с.
36. *Напартович А. П.* О распаде плазмы тлеющего разряда в постоянном электрическом поле / Напартович А. П., Наумов В. Г., Шашков В. М. // *Физика плазмы.* – 1975. – Т. 1. № 5. – С. 821–829.
37. *Oskat H. I.* Ion Mobilities in Helium, Neon, and Argon / Oskat, H. J. & Mittelstadt, V. R. // *Phys. Rev.* – 1963. – Vol. 132. – P. 1435–1444. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.132.1435>.

38. Kenty C. Volume Recombination, Constriction, and Volt-Ampere Characteristics of the Positive Column / C. Kenty // *Phys. Rev.* – 1962. – Vol. 162. – P. 1235-1238. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.126.1235>.

39. Albrecht G. Theorie der Kontraktion der positiven Säule. Z / Albrecht G., Ecker G. & Müller K. G. // *Z. Naturforsch.* – 1962. – Vol. 17 a. – P. 854–860.

40. Поверхностные свойства расплавов и твердых тел / под ред. Ю. В. Найдича. – К. : Наукова думка, 1991. – 275 с.

41. Sood D. K. Criteria for formation of a metastable solid solution by rapid melt quenching during pulsed laser or electron beam treatment / D.K.Sood // *Radiation Effects Lett.* – 1981. – № 67. – P. 13–18. DOI: 10.1080/01422448108226562.

42. Engel A. Über die Glimmentladung bei hohen Drucken / Engel A., Seeliger R., Steenbeck M. // *Zeitschrift für Physik.* – 1933. – № 85. – P. 144–160. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01342050>.

43. Баранов В. Ю. Теплофизика высоких температур / В. Ю. Баранов, А. А. Веденов, В. Г. Низьев. – 1972. – Т. 10, вып. 6. – С. 1156–1159.

44. Bolotov G. P. Determination of external stabilizing resistor value in the glow discharge power supply while welding / G. P. Bolotov, M. G. Bolotov // *IEEE 37th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2017”*. – April 2017. – P. 365–369. DOI: 10.1109/ELNANO.2017.7939780.

45. Bolotov G. P. Stabilization of high-current glow discharge under the welding conditions / G. P. Bolotov, M. G. Bolotov, S. M. Yushchenko // *IEEE 38th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2018”*. – April 2018.

46. Ульянов К. Н. Теория нормального тлеющего разряда при среднем давлении / К. Н. Ульянов // *Теплофизика высоких температур*. – 1972. – Т. 10, № 5. – С. 931–938.

47. Гайсин Ф. М. Исследование перехода тлеющего разряда в электрическую дугу при высоких температурах / Ф. М. Гайсин, Р. К. Саттаров, Р. А. Халиков. – Казань : КАИ, 1975. – 12 с.

48. Рябченко Е. В. Применение тлеющего разряда для диффузионного насыщения металлов / Е. В. Рябченко // *Науч. тр. МАИ*. – 1971. – Вып. 228. – С. 65–80.

49. Ховатсон А. М. Введение в теорию газового разряда / А. М. Ховатсон. – М. : Атомиздат, 1980. – 182 с.

### References

1. Bolkova, A. M. (1974). Ispolzovanie energii tleiushchego razryada v kachestve istochnika tepla dlya payki [Use of energy of glow discharge as a source of heat for soldering]. In *Paika v mashinostroenii – Soldering in mechanical engineering*. (pp. 136–138). Moscow: MATI [in Russian].

2. Vanin, V. S. (1962). Svarka i payka metallov v tleyushchem razryade [Welding and soldering of metals in glow discharge]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 4, 23–25 [in Russian].

3. Prokoshkin, D. A., Arzamasov, B. N., Ryabchenko, E. V. (1966). Issledovanie silitsirovaniia molibdena v tleiushchem razriade [Investigation of molybdenum silicification in glow discharge]. In *Svoistva i primeneniye zharoprochnykh splavov – Properties and application of high-temperature alloys* (p. 89). Moscow: Nauka [in Russian].

4. Kotelnikov, D. I. (1976). Tekhnologicheskiye osobennosti primeneniya tleyushchego razryada pri svarke [Technological peculiarities of application of glow discharge during welding]. *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva – Technology and organization of production*, 7, 57–59 [in Russian].

5. Babad-Zakhryapin, A. A., Kuznetsov, G. D. (1975). *Termicheskaya obrabotka v tleiushchem razriade [Chemico-thermal treatment in glow discharge]*. Moscow: Atomizdat [in Russian].

6. Engel, A., Seeliger, R. & Steenbeck, M. (1933). Über die Glimmentladung bei hohen Drucken. *Zeitschrift für Physik*, 85 (3-4), 144-160 [in German].

7. Westberg, R. G. (1959). Nature and Role of Ionizing Potential Space Waves in Glow-to-Arc Transitions. *Physical Review Journal*, 114 (1), 1-17 [in English].

8. Myshenkov, V. I. (1974). *Kontraktsiya gazovogo razriada (obzor) [Gas discharge contraction (review)]*. Institute of Problems in Mechanics of the USSR Academy of Sciences. Moscow [in Russian].

9. Myshenkov, V. I. & Makhviladze, G. M. (1978). Stabiliziruiushchee vliianie protsessov turbulentnogo perenosa na ionizatsionnuyu neustoiichivost tleiushchego razriada [Stabilizing effect of the processes of turbulent transport on the ionization instability of a glow discharge]. *Fizika plazmy – Physics of Plasmas*, 4, 411–418 [in Russian].



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

10. Lifshits, E.M., Pitaevskii, L.P. (1979). *Fizicheskaiia kinetika [Physical kinetics]*. Moscow: Nauka [in Russian].
11. MacDonald, A. D. (1969). *Sverkhvysokochastotnyi proboi v gazakh [Microwave Breakdown in Gases]* (Rabinovich, M. S. (Ed.), Savchenko, M. M. & Frank, A. G. (Trans.)). Moscow: Mir [in Russian].
12. Maxfield, F. A. & Fredenhall, J. L. (1938). Characteristics of the Glow to Arc Transition in Mercury Vapor. *Journal Applied Physick*, 9, 600–610 [in English].
13. Plesse, H. (1935). Untersuchungen am elektrischen Lichtbogen. *Annalen der Physik*, 5 (414), 473–499. DOI: <https://doi.org/10.1002/andp.19354140504> [in German].
14. Suits, C. G. & Hocker, J. P. (1938). Role of Oxidation in Arc Cathodes. *Physical Review Journal*, 53, 670. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.53.670> [in English].
15. Cobine, J. D. (1938). Effects of Oxides and Impurities on Metallic Arc Reignition. *Physical Review Journal*, 53, 911 DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.53.911> [in English].
16. Engel, A., Shteynbek, M. (1936). *Fizika i tekhnika elektricheskogo razryada v gazakh [Physics and Technology of Electric Discharge in Gases]*. Moscow – Leningrad: ONTI [in Russian].
17. Druyvesteyn, M. J. (1932). Übergang von der Glimmentladung zum Bogen in Edelgasen. *Zeitschrift für Physik*, 73, 727–731. DOI: <https://doi.org/10.1007/bf01344220> [in German].
18. Hofesrt, H.J. (1939). *Annalen der Physik*, 35, 547 [in English].
19. Hsu, Y. F. (1939). The Transition from Glow Discharge to Arc. *Physical Review Journal*, 55, 769–775. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.55.769> [in English].
20. Ryabov, V. R., Rabkin, D. M., Kurochko, R. S., Strizhevskaya, L.G. (1984). *Svarka raznorodnykh metallov i splavov [Welding of heterogeneous metals and alloys]*. Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
21. Thompson, D. G. (1983). The Vibrational Excitation of Molecules by Electron Impact. *Advances in Atomic and Molecular Physics*, 19, 309–343. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0065-2199\(08\)60256-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2199(08)60256-0) [in English].
22. Soloukhin, R. I. (Ed.) (1947). *Gazovye lazery [Gas Lasers]*. Novosibirsk – Moscow: SO, Nauka [in Russian].
23. Galant V. E., Zhilinskii A. P., Sakharov S. A. *Osnovy fiziki plazmy [Basics of Plasma Physics]*. Moscow: Atomizdat, 1977 [in Russian].
24. Tomkins, F. S. (1948). Hyperfine Structure in the Spectrum of Np237. *Physical Review Journal*, 73, 1214. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.73.1214.2> [in English].
25. Elets'kii, A. V., Smirnov, V. M. (1970). Szhatiye polozhitelnogo stolba tleyushchego razryada [Compression of a positive column of glow discharge]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki – Journal of Technical Physics*, 40 (8), 1682–1684 [in Russian].
26. Zykhova, N. M., Kurakina, T. S., Safonov, A. A. (1975). *Teplofizika vysokikh temperatur [Thermal physics of high temperatures]*, 3 (13), 630–633 [in Russian].
27. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G., Rudenko, M. M. (April 2016). Modification of Materials Surface Layers by Low-Energy Ion Irradiation in Glow Discharge. *IEEE 36th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2016”* (pp. 135–140) [in English].
28. Baranov, V. Yu., Ulianov, K. N. (1967). Szhatie polozhitelnogo stolba tleiushchego razriada [Compression of the positive column of a glow discharge]. *Pisma v ZhTF – Letters in ZhTF*, 6, 622 [in Russian].
29. Golubev, V. S. (1990). *Tleiushchii razriad povyshennogo davleniia [High pressure glow discharge]*. Moscow: Nauka [in Russian].
30. Napartovich, A. L., Starostin, A. N. (1979). Mekhanizmy neustoychivosti tleyushchego razryada povyshennogo davleniya [Mechanisms of instability of glow discharge of high pressure]. *Khimiia plazmy – Chemistry of Plasma*, 6, 153 [in Russian].
31. Elenbaas, W. (1951). *The High Pressure Mercury Vapour Discharge*. Amsterdam: Published by North-Holland Publishing.
32. Elets'kii, A. V., Rahimov, A. T. (1974). Neustoichivosti v plazme gazovogo razriada [Instabilities in plasma gas discharge]. *Khimiia plazmy – Chemistry of Plasma*, 4, 123 [in Russian].
33. Nedospasov, A. V., Hayt, V. D. (1979). *Kolebaniia i neustoichivosti nizkotemperaturnoi plazmy [Oscillations and instability of low-temperature plasma]*. Moscow: Nauka [in Russian].

34. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G., Nahorna, I. V. (2017). Hollow cathode glow discharge as a heating source in welding and brazing. *2017 IEEE 1<sup>st</sup> Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering, UKRCON 2017* (pp.1197–1202) [in English].
35. Elets'kii, A. V., Palkina, L. A. & Smirnov, B. M. (1975). *Iavleniia perenosa v slaboionizirovannoi plazme. [Transition phenomena in weakly ionized plasma]*. Moscow: Atomizdat [in Russian].
36. Napartovich, A. P., Naumov, V. G., Shashkov, V. M. (1975). O raspade plazmy tleishchego razriada v postoiannom elektricheskom pole [On the decay of a glow discharge plasma in a constant electric field]. *Fizika plazmy – Physics of Plasma, 1* (5), 821–829 [in Russian].
37. Ion Mobilities in Helium, Neon, and Argon. *Physical Review Journal, 132*, 1435–1444. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.132.1435> [in English].
38. Kenty, C. (1962). Volume Recombination, Constriction, and Volt-Ampere Characteristics of the Positive Column. *Physical Review Journal, 126*, 1235–1238. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRev.126.1235> [in English].
39. Albrecht, G., Ecker, G. & Müller, K. G. (1962). Theorie der Kontraktion der positiven Säule. *Z. Naturforsch, 17-a*, 854–860 [in German].
40. Naidych, Yu. V. (1991). *Poverkhnostnyye svoystva rasplavov i tverdykh tel [Surface properties of melts and solids]*. Kiev: Naukova dumka [in Russian].
41. Sood, D. K. (1981). Criteria for formation of a metastable solid solution by rapid melt quenching during pulsed laser or electron beam treatment. *Radiation Effects, 67(1-2)*, 13-18. DOI: 10.1080/01422448108226562 [in English].
42. Engel, A., Seeliger, R. & Steenbeck, M. (1933). Über die Glimmentladung bei hohen Drucken. *Zeitschrift für Physik, 85*, 144–160 [in German].
43. Baranov, V. Yu., Vedenov, A. A. & Nizev, V. G. (1972). Razriad v potoke gaza [Discharge in the flow of gas]. *Teplofizika vyisokih temperature – Heat Physics of High Temperatures, 6(10)*, 1156–1159 [in Russian].
44. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G. (April 2017). Determination of external stabilizing resistor value in the glow discharge power supply while welding. *IEEE 37th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2017”* (pp.365–369). DOI: 10.1109/ELNANO.2017.7939780 [in English].
45. Bolotov, G. P., Bolotov, M. G., Yushchenko, S. M. (April 2018). Stabilization of high-current glow discharge under the welding conditions. *IEEE 38th International Conference “Electronics and Nanotechnology ELNANO’2018”* [in English].
46. Ulianov, K. N. (1972). Teoriia normalnogo tleishchego razriada pri srednem davlenii [The theory of normal glow discharge at average pressure]. *Teplofizika vyisokih temperatur – Heat Physics of High Temperatures, 5* (10), 931–938 [in Russian].
47. Gaysin, F. M., Sattarov, R. K., Khalikov, R. A. (1975). *Issledovanie perekhoda tleishchego razriada v elektricheskuiu dugu pri vyisokih temperaturakh [Investigation of the transition of a glow discharge into an electric arc at high temperatures]*. Kazan: KAI [in Russian].
48. Ryabchenko, E. V. (1971). Primeneniye tleyushchego razryada dlya diffuzionnogo nasyshcheniya metallov [Application of glow discharges for diffusion saturation of metals]. *Nauch. Tr. MAI – Scientific. tr. MAI, 228*, 65–80 [in Russian].
49. Khovats'kov, A. M. (1980). *Vvedenie v teoriyu gazovogo razriada [Introduction to the theory of gas discharge]*. Moscow: Atomizdat [in Russian].

UDC 621.791.12

Maksym Bolotov

## ANALYSIS OF THE MAIN INSTABILITIES OF MEDIUM PRESSURE GLOW DISCHARGE IN THE CONDITIONS OF MATERIALS TREATMENT

**Urgency of the research.** The glow discharge of medium pressure in various technological processes of chemical-thermal treatment, coating deposition, welding and soldering, etc. is widely used.

**Target setting.** However, the first researchers, along with favorable conditions, also discovered various types of instability of gas-plasma, which leads to a rejection of the technological process from the given parameters.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The first researchers noted a partial or complete loss of stability of the smoldering medium pressure and its transition to a more stable form – the electric arc.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**The purpose of the work.** Analysis of the hypotheses that exist to date in the literature, through which their authors explain the main reasons for the loss of stability of a powerful current glow discharge and its transition into an electric arc.

**The statement of basic materials.** The glow discharge instability studied in terms of processes occurring at the cathode and the cathode region, the contraction of the positive column under high currents and pressure and the external circuit. The contract of a positive column of discharge in argon under pressure in the interval from units mm.rt.st was studied. to hundreds mm.rt.st. in cylindrical tubes with a diameter of 2.6 and 3.7 cm. As a result, it was found that at pressures below a certain critical value, the current was practically not rounded.

**Conclusions.** It is established that the main causes of the instability of a glow discharge are the surface relief of the cathode; the chemical composition of the cathode and the gaseous medium in the interelectrode gap; design features of the cathode; parameters of the discharge combustion regime, primarily the discharge current and gas.

**Keywords:** glow discharge; instability; gas discharge plasma; arc; positive pole contract.

**References:** 49.

УДК 621.791.12

Максим Болотов

## АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ НЕСТАБИЛЬНОСТЕЙ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА СРЕДНЕГО ДАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

**Актуальность темы исследования.** Тлеющий разряд средних давлений нашел широкое распространение в различных технологических процессах химико-термической обработки, нанесения покрытий, сварки и пайки, и тому подобное.

**Постановка проблемы.** Однако наряду с благоприятными предпосылками обнаружили и различные виды неустойчивости газоразрядной плазмы, приводящие к отклонению хода технологического процесса от заданных параметров, обусловленных переходом тлеющего разряда в электрическую дугу.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Первые исследователи отмечали частичную или полную потерю устойчивости тлеющего средних давлений и перехода его в более стабильную форму – электрическую дугу.

**Цель работы.** Анализ гипотез, существующих на сегодняшний день в литературе, с помощью которых их авторы объясняют основные причины потери устойчивости сильнооточного тлеющего разряда и перехода его в электрическую дугу.

**Изложение основного материала.** Нестабильности тлеющего разряда изучались с точки зрения процессов, протекающих на катоде и прикатодной области, контракции положительного столба под воздействием высоких токов, давлений и влияния внешней цепи. Изучалась контракция положительного столба разряда в аргоне при давлениях в интервале от единиц мм до сотен мм в цилиндрических трубках диаметром 2,6 и 3,7 см. В результате было обнаружено, что при давлениях ниже критического значения ток практически не контрагировал.

**Выводы в соответствии со статьей.** Установлено, что основными причинами неустойчивости тлеющего разряда является рельеф поверхности катода; химический состав катода и газовой среды в межэлектродном промежутке; конструктивные особенности катода; параметры режима горения разряда, в первую очередь значение тока разряда и давления газа; сопротивление внешней цепи, питающей разряд; проводимость межэлектродного промежутка.

**Ключевые слова:** тлеющий разряд; неустойчивость; газоразрядная плазма; электрическая дуга; контракция положительного столба.

Библ.: 49.

**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, Associate Professor of Department of Welding Technology and CAD/CAM/CAE Systems of Building Structures, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

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

**Scopus:** 57190377278

## РОЗДІЛ IV. ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 004.056.57

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-116-126

Володимир Казимир, Ігор Карпачев, Анна Усік

### МОДЕЛІ СИСТЕМИ БЕЗПЕКИ ОС ANDROID

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні набуло значного поширення використання користувачами мобільних пристроїв та додатків з метою зберігання приватної та конфіденційної інформації. Поряд з цим зростають методи та шляхи поширення шкідливого програмного забезпечення в ОС Android. Для ефективної боротьби з поширенням необхідний новий та покращений підхід до аналізу моделей прав доступу ОС Android. У статті розглянуто розроблення нових моделей, які базуються на стандартному методі LSI, статистичному та категоріальному аналізі різних сервісів Google, що дозволить покращити існуючу систему безпеки.

**Постановка проблеми.** У галузі забезпечення безпечної та ефективної роботи мобільних застосувань функціональна та інформаційна безпека розглядаються як дві фундаментальні складові, що взаємодоповнюють одна одну. Одним із найефективніших способів отримання зловмисником доступу до конфіденційної інформації є обхід системи одноразової перевірки ОС Android. Одним із засобів підвищення надійності роботи є розробка моделей безперервного захисту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто останні публікації у відкритому доступі, включаючи статистичні дані Google Malware Project.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка та математичне обґрунтування моделей безперервного аналізу привілеїв в ОС Android.

**Постановка завдання.** Запропонувати базову модель захисту ОС Android, що базується на аналізі привілеїв.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновано модель безперервного аналізу програмних застосувань, що базується на аналізі дозволів методом латентно-семантичної індексації.

**Висновки відповідно до статті.** Проведено аналіз та показано вади базового підходу захисту ОС «Android Permission», за якого здійснюється одноразова перевірка роботи застосувань. Також наведено найбільш репрезентативні результати тестування наведених моделей для різних варіантів навчальної вибірки.

**Ключові слова:** безпека; система безпеки; функціональна безпека; алгоритм системи захисту; модель системи захисту ОС Android; латентно-семантична індексація; LSI.

Рис.: 9. Табл.: 2. Бібл.: 9.

**Актуальність теми дослідження.** На сьогодні набуло значного поширення використання користувачами мобільних пристроїв та додатків з метою зберігання приватної та конфіденційної інформації. Поряд з цим зростають методи та шляхи поширення шкідливого програмного забезпечення в ОС Android. Для ефективної боротьби з поширенням необхідний новий та покращений підхід до аналізу моделей прав доступу ОС Android. У статті розглянуто розроблення нових моделей, які базуються на стандартному методі LSI, статистичному та категоріальному аналізі різних сервісів Google, що дозволить покращити існуючу систему безпеки.

**Постановка проблеми.** Проблеми захисту ОС Android пов'язані з недосконалістю багатьох факторів самої системної платформи ОС, що є зручною й ефективною для використання та інтеграції нових програмних платформ, але при цьому залишає доступ зловмисникам до функціональних вузлів та конфіденційних даних. Ключовою проблемою є необхідність активної взаємодії застосувань між собою на рівні «застосування – ОС Android», що зумовлює потребу в побудові адекватних моделей прав доступу, та роботи застосувань для кожного додатку ОС Android.

**Аналіз останніх джерел і публікацій.** Системний аналіз роботи мобільних застосувань обов'язково включає в себе блок забезпечення функціональної безпеки, що здійснює моніторинг потенційно небезпечних умов та ідентифікує відповідні події, які можуть призвести до втрати даних, доступу до конфіденційних даних сторонніх осіб або блокування сторонніми особами належного доступу. На базовому етапі прикладного аналізу системи дозволів «Android Permission» [4] – є побудова терм-документної матриці, використання сингулярного розкладу [7] та подальший аналіз на основі латентно-семантичної індексації (LSI: Latent Semantic Indexing) [8].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Мета статті полягає в побудові моделей безперервного аналізу роботи програмних застосунків, що базуються на аналізі дозволів методом латентно-семантичної індексації.

**Модель прав доступу.** Прикладний програмний інтерфейс застосунків API є найбільш чутливим компонентом ОС Android, а його захист здійснюється через налаштування відповідної системи дозволів «Android Permission» [4]. Таким чином, критичні функції додатків у межах цієї системи мають бути включені через підтвердження запиту на доступ до AndroidManifest.xml. Але ефективність захисту, що базується на системі дозволів, має певні обмеження. При базовому підході, характерному для «Android Permission», здійснюється одноразова перевірка роботи застосування (single-point check), яку зловмисне програмне забезпечення (ПЗ) може обійти й надалі передавати конфіденційні дані за допомогою викликів API без будь-яких обмежень.

У цій статті для побудови системи безпеки ОС Android пропонуємо використовувати моделі захисту, що здійснюють безперервний аналіз ПЗ. Основою такого підходу має бути аналіз дозволів на основі латентно-семантичної індексації (LSI: Latent Semantic Indexing) [8].

Нині LSI можна вважати стандартною методикою пошуку інформаційних блоків, у якій для визначення найбільш релевантного набору файлів та текстових документів використовуються ключові елементи коду та слова. Методика спирається на обчисленні матриці, у якій рядки задаються елементами коду та словами, а стовпчики – файлами та документами. При пошуку релевантних файлів та документів матриця зменшується за допомогою методу сингулярного розкладу (SVD: Singular Value Decomposition) [7]. Так, наприклад, у межах задачі пошуку зловмисного ПЗ необхідно провести аналіз на відповідність відомим сигнатурам загроз списків дозволів у файлах XML. Запити формуються на основі списку небезпечних дозволів, після чого вектор запиту використовується для ранжування застосунків. Аналіз списків дозволів у файлах XML має певну специфіку щодо аналізу текстових файлів, тому процедура застосування методики LSI [6] має бути визначена згідно з особливостями поставленої задачі. На рис. 1 наведена схема аналізу дозволів ПЗ Android, що базується на LSI.

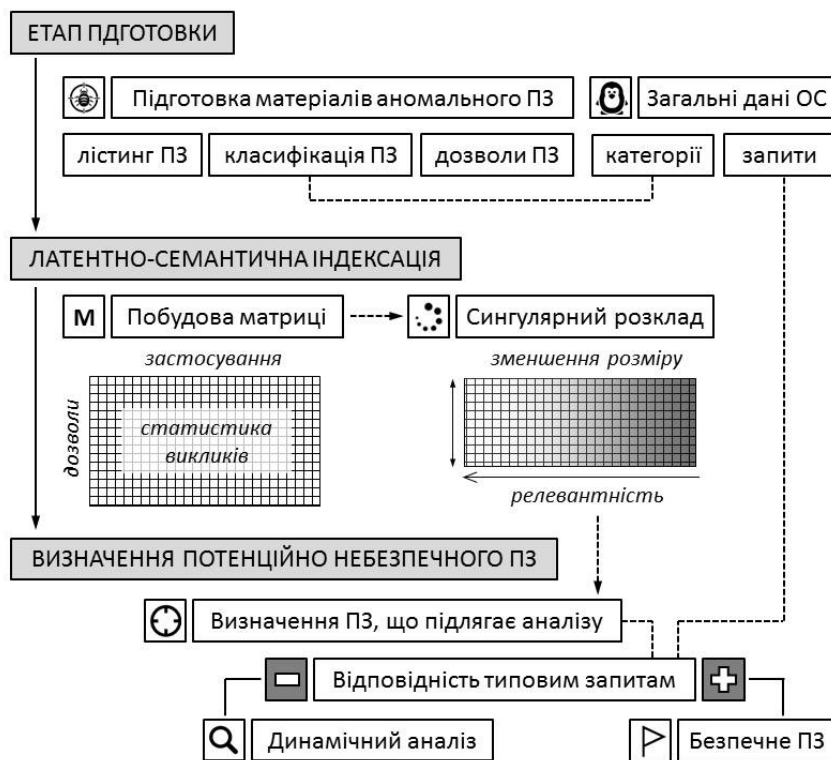


Рис. 1. Схема аналізу дозволів ПЗ Android, що базується на LSI

Алгоритм аналізу дозволів, що працює за даною схемою, складається з таких етапів:

- визначення переліку аномальних додатків для подальшого аналізу їх лістингу за методикою LSI;
- класифікація даних застосувань відповідно до переліку дозволів;
- включення дозволів у масив ключових слів LSI;
- побудова двовимірної матриці  $M$ , стовпчики якої складаються з набору аномальних додатків, а рядки – з переліку дозволів (таким чином, елементи матриці визначають статистику доступу ПЗ до ресурсів ОС);
- застосування щодо матриці  $M$  процедури SVD з метою зменшення її розміру та визначення найбільш релевантних до сигнатур зловмисного ПЗ застосувань та їх ранжування;
- визначення набору ПЗ, що підлягає подальшому аналізу та отримання для кожного з даних застосувань набору стандартних дозволів;
- якщо дозвіл на застосування не відповідає загальному набору типових дозволів із найбільш релевантних категорій, ПЗ позначається як потенційно зловмисне і підлягає динамічному аналізу.

Слід зауважити, що представлена схема є загальним алгоритмом забезпечення безпеки ОС Android. Вона не враховує те, що не всі потенційно небезпечні (ризиковані) дозволи викликаються застосуваннями. Тим більше, отримання ризикованого дозволу не характеризує застосування як однозначно зловмисний ПЗ. Але наявність ризикованого дозволу може призвести до хибного позитивного підтвердження. Щоб зменшити відсоток таких випадків, необхідно перевірити програму у віртуальному емуляторі (sandbox) і ретельно проаналізувати рівень його безпеки. Крім того, застосування методики LSI, включаючи формування терм-документної матриці та використання сингулярного розкладу (метод SVD), також не є тривіальною задачею, тому для кожною конкретної задачі необхідно визначити актуальні підходи та показати процес аналізу.

Першим етапом аналізу дозволів на основі латентно-семантичної індексації є побудова терм-документної матриці  $M$  та вектору запитів  $q$  на її основі:

$$\begin{cases} M = [k * n] \\ q = [k * l] \end{cases}, \quad (1)$$

де  $q$  – кількість дозволів, які відповідають термінам;  $n$  – кількість застосувань (що в межах цієї методики характеризуються файлами XML, які відповідають документам);  $l$  – кількість викликів. Отже, множина дозволів  $p$  та множина застосувань  $a$  можуть бути визначені як:

$$\begin{cases} p = [p_1; p_k] \\ a = [a_1; a_n] \end{cases}. \quad (2)$$

Сингулярний розклад зумовлює представлення терм-документної матриці  $M$  у наступній формі:

$$M = V * S * (V^{-1})^T, \quad (3)$$

де  $V$  – власний вектор матриці  $M$ , а  $S$  – діагональна матриця.

Наступним етапом обирається значення  $m$ ,  $m < n$ , щоб зменшити розмірність матриці  $M(k * n)$  до матриці  $M_m(k * m)$ . Аналогічно  $S_i$  обирається через зменшення розмірності  $S$  і вектору  $V_m(m * m)$ . Таким чином, кожному застосуванню  $a_i$  відповідати-ме вектор-рядок  $v_i$ .

Тепер отримати апроксимоване значення меншої розмірності вектору запиту  $q_m$  можна через добуток трьох матриць:

$$q_m(m * l) = q * V_m * S_m^{-1}. \quad (4)$$

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Після цього можна визначити подібність елементів запиту та застосування через відповідну функцію  $F(q_i, a_i)$ . Відповідно до задачі нам необхідно застосувати міру подібності для дійснозначних векторів. Тому в межах роботи пропонуємо використати коефіцієнт Отіаі-Баркмана[9]:

$$F(q_i, a_i) = \frac{q_i \cdot a_i}{\|q_i\| \cdot \|a_i\|}, \tag{5}$$

де  $q_i \cdot a_i$  – скалярний добуток  $q_i$  і  $a_i$ , а  $\|q_i\|$  і  $\|a_i\|$  – їхня потужності.

Для перевірки ефективності роботи алгоритму були використані статистичні дані сервісу Google Play [1] та зразки інформаційного ресурсу «Android Malware Genome Project» [2], ранжовані за категоріями «Розважальні сервіси» (відповідає категоріям «Games» і «Entertainment»), «Комунікаційні засоби» (відповідає категорії «Communication»), «Мультимедійні ресурси» (відповідає категоріям «Music & Audio» та «Media & Video») і «Десктоп-віджети» (відповідає категорії «Music and Video»). Базуючись на даних ресурсу [3], для вказаних категорій можна отримати результати, наведені у табл. 1.

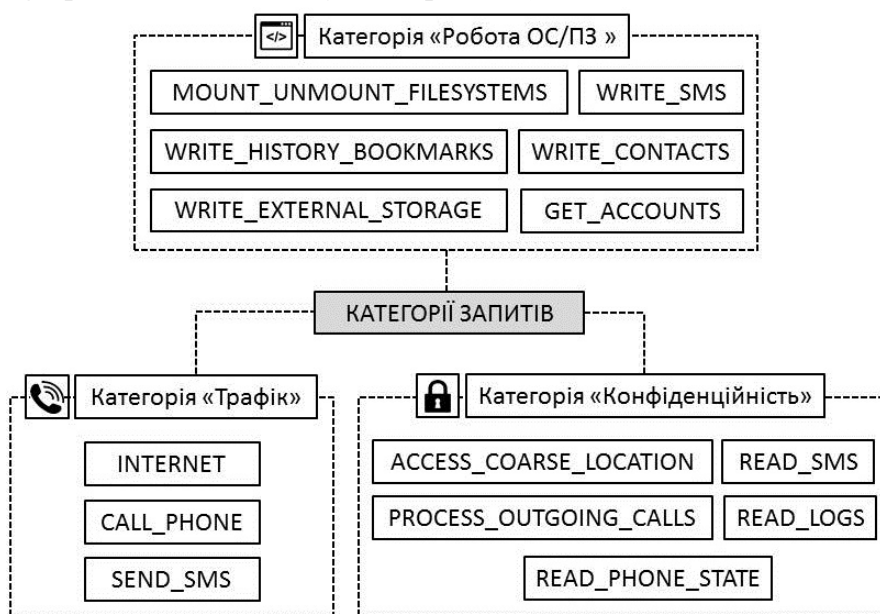
Таблиця 1

*Відсоток зловмисного ПЗ залежно від категорії застосувань*

Категорія ПЗ	Відсоток ПЗ, %	Звичайне ПЗ, %	Зловмисне ПЗ, %
Розважальні сервіси	85	90	80
Комунікаційні засоби	10	6	13
Мультимедійні ресурси	3	2	4%
Десктоп-віджети	2	2	3

Зразки були поділені на зразки навчальної вибірки (80 % від повної вибірки) та зразки для тестування методики LSI (20 % від повної вибірки). Аналіз запитів на отримання дозволів дає змогу перевірити, якою мірою пов’язані категорії застосувань та категорії запитів та як це співвідноситься з навчальною вибіркою. У цьому прикладі, у зв’язку зі специфікою матеріалу, представленого для навчання системи захисту, співвіднесення відбувалося саме зі зразками зловмисного ПЗ. Тому до схеми, представленої на рис. 1, були внесені відповідні зміни.

Усі потенційно небезпечні запити на дозволи були віднесені, відповідно до стандартної класифікації, до однієї з трьох категорій (рис. 2): конфіденційність (privacy), трафік (billing), робота ОС та ПЗ (system operation).



*Рис. 2. Категорії запитів із високим ризиком ОС Android*

Найбільш репрезентативні результати тестування запропонованої моделі для даних трьох категорій представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати тестування LSI-моделі аналізу ПЗ ОС Android, %

Розважальні сервіси	Комунікаційні засоби	Мультимедійні ресурси	Десктоп-віджети	Відповідність результатів
88	6	3	3	84
92	5	2	1	93
94	3	2	1	98

Тестування даної моделі показує, що ефективність статичного аналізу залежить від процентного співвідношення найбільш актуальних категорій (у даному випадку категорії «Розважальні сервіси») у навчальній вибірці. Але, слід крім того зауважити, що в будь-якому випадку залишається певний процент похибок другого роду, для відслідковування яких необхідно використовувати динамічний аналіз.

**Модель роботи застосувань.** Як показує тестування алгоритму аналізу дозволів на основі латентно-семантичної індексації [5], на ефективність статичного аналізу значною мірою впливає адекватність моделювання роботи застосувань та повнота відповідних статистичних даних, пов'язаних з використанням зловмисним ПЗ окремих категорій запитів. Для розробки цілісного методу необхідно побудувати узагальнену модель роботи застосувань, залучити до розгляду статистичний аналіз використання запитів та побудувати класифікатор потенційних загроз.

У загальному виді результати аналізу застосувань на потенційно небезпечне ПЗ можна поділити на чотири види найбільш типових показників (рис. 3):

- істинно позитивні, кількість яких визначається як  $TP$  (true positive);
- істинно негативні, кількість яких визначається як  $TN$  (true negative);
- хибно позитивні, або помилки другого роду, кількість яких визначається як  $FP$  (false positive);
- хибно негативні, або помилки першого роду, кількість яких визначається як  $FN$  (false negative);

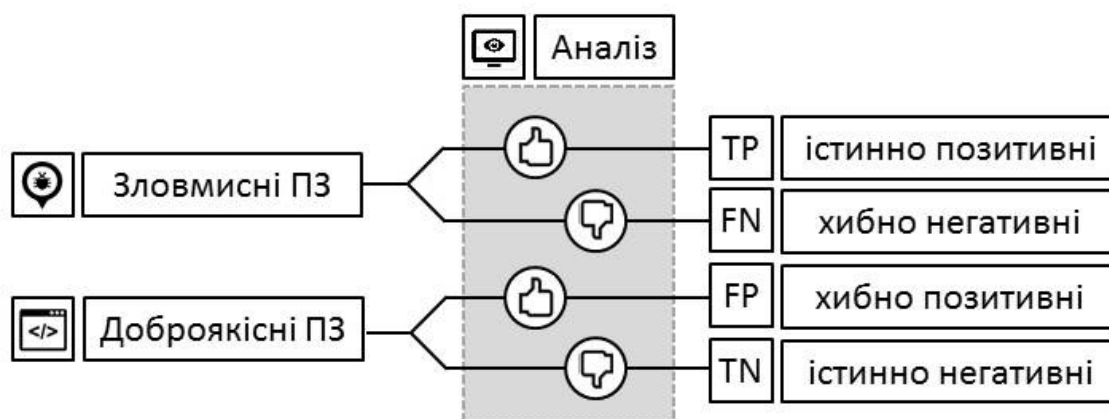


Рис. 3. Розподіл результатів аналізу за видами показників

На основі даних величин можна визначити такі показники, як кількість істинно позитивних рішень  $TPR$  (true positive rate), кількість хибно позитивних рішень  $FPR$  (false positive rate), а також точність передбачення позитивних значень  $PPV$  (positive predictive value) та точність передбачення негативних значень  $FPV$  (positive predictive value):



$$\left\{ \begin{aligned} TPR &= \frac{TP}{TP + FN} \\ FPR &= \frac{FP}{TN + FP} \\ TNR &= \frac{TN}{TN + FP} \\ FNR &= \frac{FN}{TP + FN} \end{aligned} \right. \quad (6)$$

$$\left\{ \begin{aligned} PPV &= \frac{TP}{TP + FP} \\ FPV &= \frac{TN}{TN + FN} \end{aligned} \right. \quad (7)$$

Одним із найбільш ефективних методів перевірки результатів роботи та вдосконалення розробленої моделі аналізу застосувань ОС Android є Баєсів класифікатор, який відноситься до ймовірнісних класифікаторів та характеризується простим і компактним алгоритмом, що використовує мінімум апаратних ресурсів ОС, але при цьому характеризується високою точністю. Робота з цим класифікатором включає у себе фази навчання та тестування. На етапі навчання модель класифікатора отримує на вхід навчальну вибірку зразків доброякісного та зловмисного ПЗ для ОС Android. Надалі, під час тестування або роботи, модель виявляє належність застосування до зловмисного ПЗ, використовуючи дані, отримані під час навчання.

Для проведення ефективної класифікації необхідно визначити певну статистику отримання запитів на дозволи та АРІ-викликів, приклад якої наведено на рис. 4.

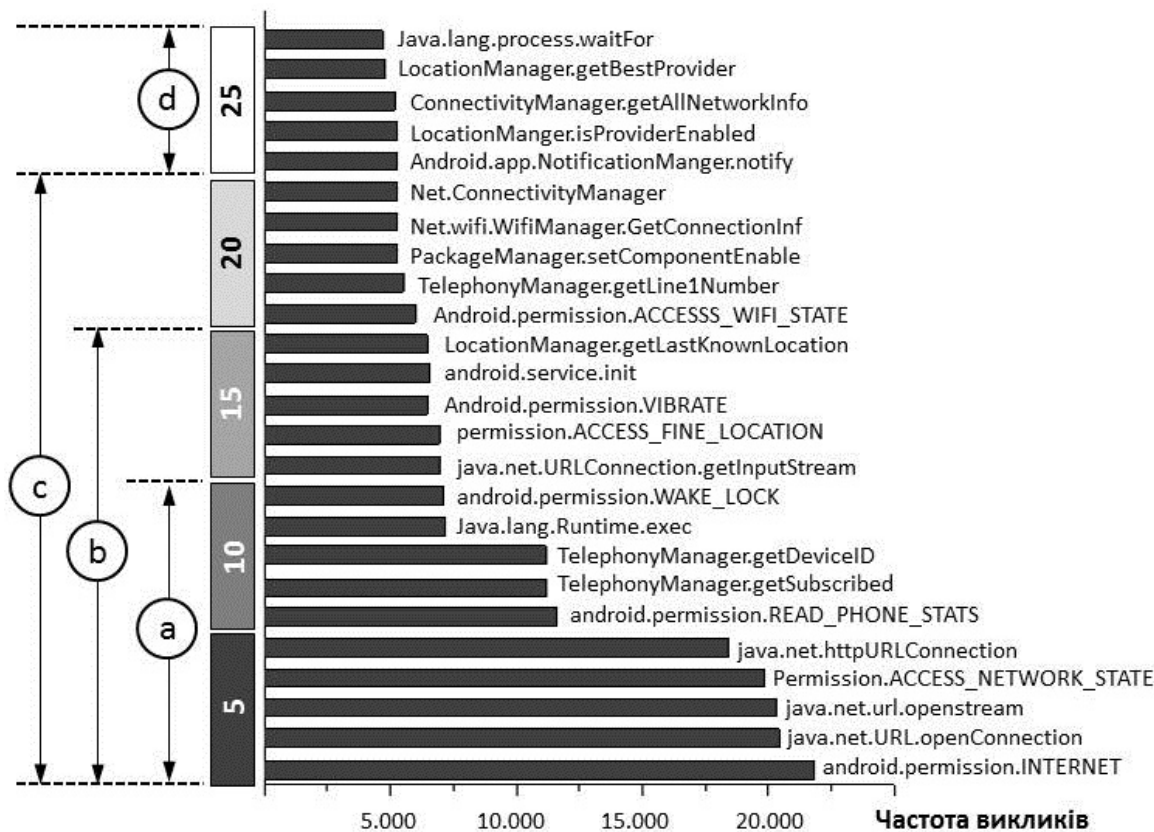


Рис. 4. Статистика отримання запитів на дозволи ОС Android

У цьому випадку запити було поділено на десять тих, що найбільш активно застосовуються (група «а»), п'ятнадцять тих, що найбільш активно застосовуються (група «б»), двадцять тих, що найбільш активно застосовуються (група «с»), п'ять тих, що найменш активно застосовуються (група «d»). Для цих груп запитів були визначені відповідні показники: частота похибок та точність (відповідно, похибок першого та другого роду), відсотковий склад TNR, TPR, FNR, FPR, а також показники точності FPV і PPV (рис. 5–9).

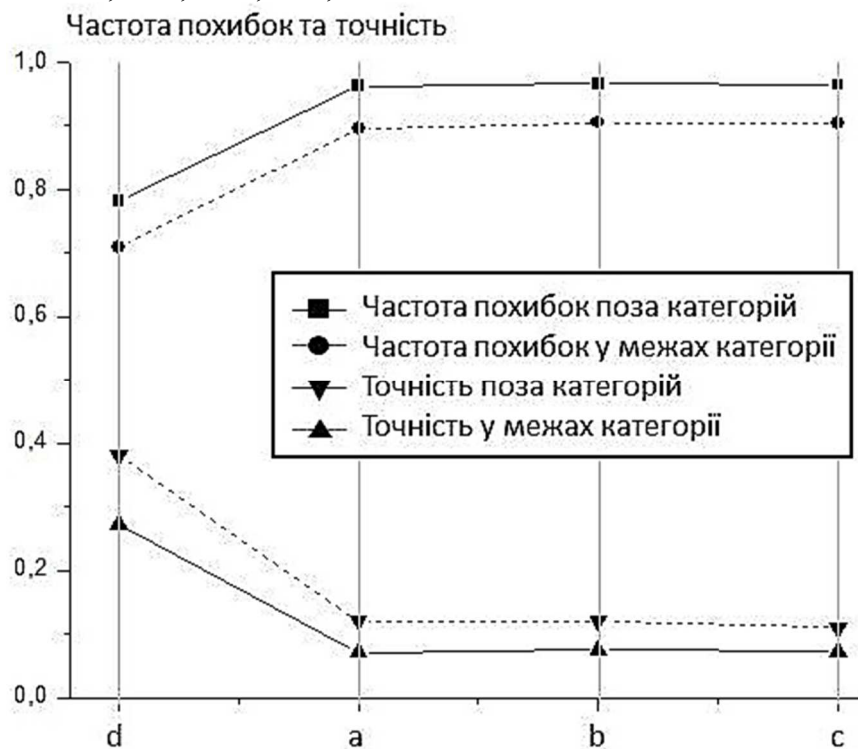


Рис. 5. Частота похибок та точність аналізу

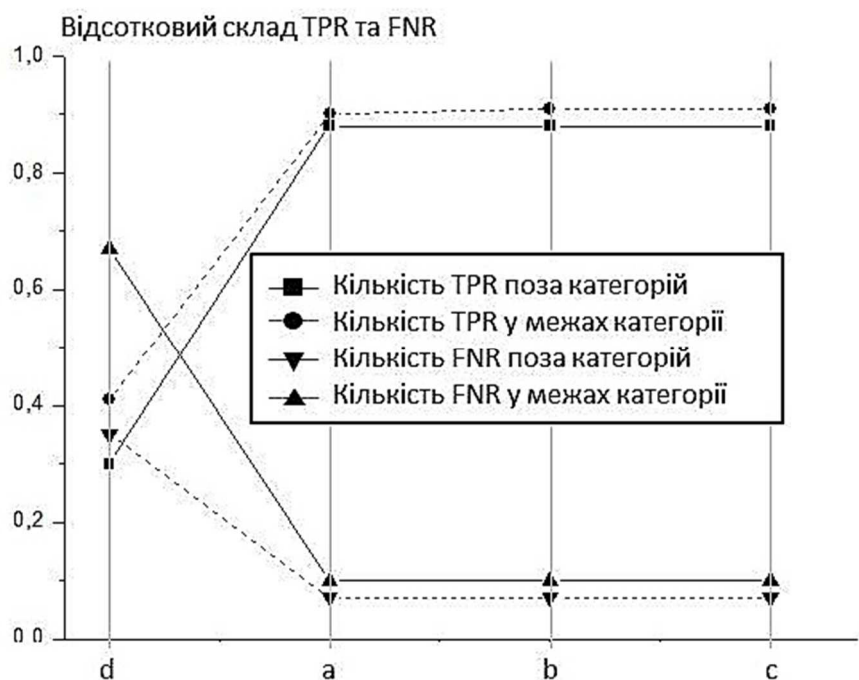


Рис. 6. Відсотковий склад TPR та FNR

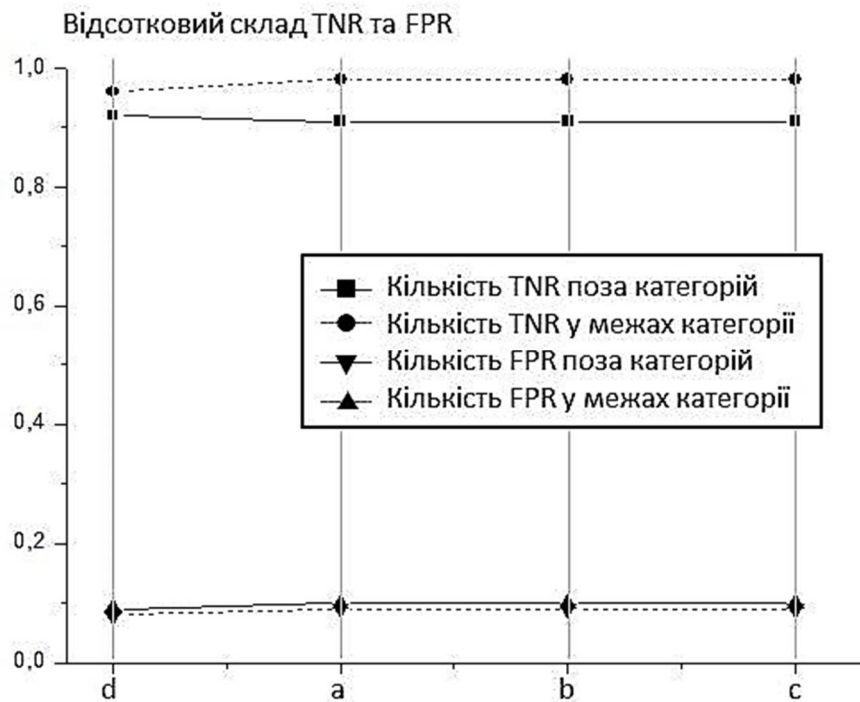


Рис. 7. Відсотковий склад TNR та FPR

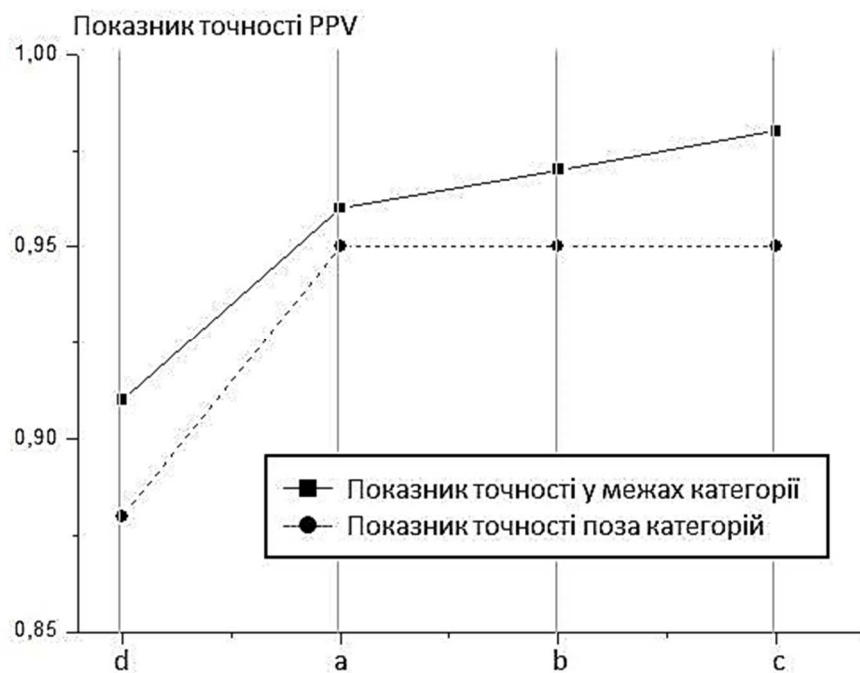


Рис. 8. Показник точності PPV

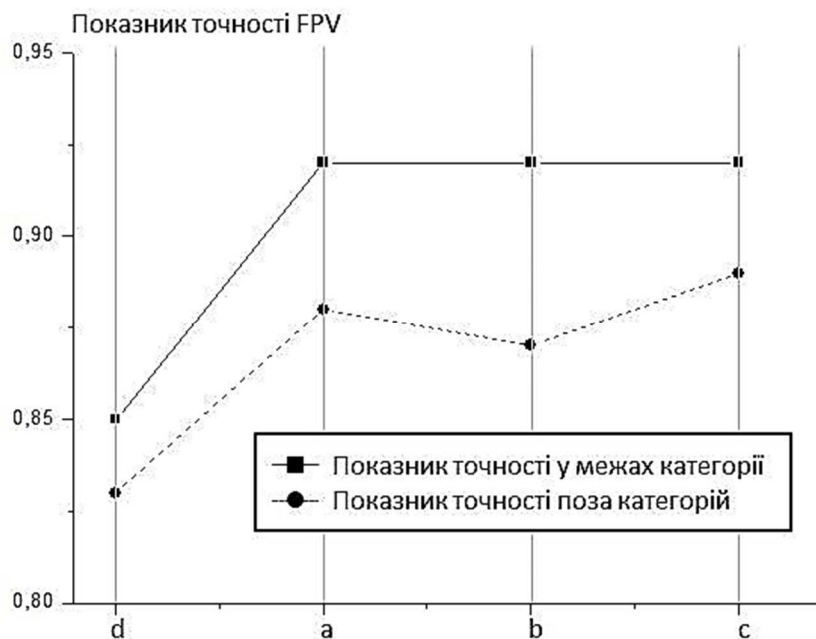


Рис. 9. Показник точності FPV

Аналіз представлених графіків показує, що зі збільшенням групи збільшується точність аналізу та, відповідно, зменшується кількість помилок. Особливо різниця очевидна при порівнянні груп «а» і «d». У цьому випадку різниця пов'язана не лише з розміром групи, а й з її актуальністю. Крім того, слід зауважити, що під час тестування розроблених моделей на зразках, що перебувають поза межами категорій, які використовувалися при навчанні, зменшується точність аналізу та, відповідно, збільшується кількість помилок.

**Висновки відповідно до статті.** Запропоновані моделі при постійній перевірці дозволів, які використовуються застосуванням, значно зменшують негативний потенціал зловмисника. Але для забезпечення ефективної безпеки ОС Android необхідно визначити всі способи, за допомогою яких зловмисне ПЗ може асоціювати себе з завданням чи іншим застосуванням, що надає надмірні привілеї і становитиме потенційну загрозу. Це можливо лише через експериментальне вивчення способів управління ОС Android завданнями, що реалізується через дослідження процесу роботи системи за умови встановлення всіх можливих комбінацій перемикачів налаштувань платформи, які можуть вплинути на статус завдання. При цьому має здійснюватися аналіз додаткових привілеїв, які можуть бути отримані застосуванням, коли воно приєднується до завдання.

#### Список використаних джерел

1. Google Play [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://play.google.com>.
2. Android Malware Genome Project [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.malgenomproject.org>.
3. Malware mobile applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.gnu.org/proprietary/malware-mobiles.ru.html>.
4. Manifest.permission [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://developer.android.com/reference/android/Manifest.permission.html>.
5. Permissions reference [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://developers.facebook.com/docs/authentication/permissions>.
6. Latent Semantic Indexing [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/latent-semantic-indexing-1.html>.
7. Singular Value Decomposition (SVD) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.cs.cmu.edu/~venkatg/teaching/CStheory-infoage/book-chapter-4.pdf>.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

8. Latent Semantic Indexing [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.cs.haifa.ac.il/~rita/uml\\_course/lectures/LSI.pdf](http://www.cs.haifa.ac.il/~rita/uml_course/lectures/LSI.pdf).

9. Cosine Similarity [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [https://studbooks.net/2244345/matematika\\_himiya\\_fizika/kosinusnaya\\_mera](https://studbooks.net/2244345/matematika_himiya_fizika/kosinusnaya_mera).

## References

1. Google Play. (2016). *play.google*. Retrieved from <https://play.google.com> [in English].
2. Android Malware Genome Project. (2012). *www.malgenomeproject.org*. Retrieved from <http://www.malgenomeproject.org/> [in English].
3. Malware mobile applications. (2018). *www.gnu.org*. Retrieved from <https://www.gnu.org/proprietary/malware-mobiles.ru.html> [in English].
4. Manifest.permission. (2016). *developer.-ndroid.com*. Retrieved from <http://developer.-ndroid.com/reference-/android/Manifest.permission.html> [in English].
5. Permissions reference. (2016). *developers.facebook.-com*. Retrieved from <https://developers.facebook.-com/docs/authentication/permissions/> [in English].
6. Latent Semantic Indexing. (2016). *nlp.stanford.edu*. Retrieved from <https://nlp.stanford.edu/IR-book/html/htmledition/latent-semantic-indexing-1.html> [in English].
7. Singular Value Decomposition. (2016). *www.cs.cmu.edu*. Retrieved from <https://www.cs.cmu.edu/~venkatg/teaching/CStheory-infoage/book-chapter-4.pdf> [in English].
8. Latent Semantic Indexing. (2011). *www.cs.haifa*. Retrieved from [http://www.cs.haifa.ac.il/~rita/uml\\_course/lectures/LSI.pdf](http://www.cs.haifa.ac.il/~rita/uml_course/lectures/LSI.pdf) [in English].
9. Cosine Similarity. (2018). *studbooks.net*. Retrieved from [https://studbooks.net/2244345/matematika\\_himiya\\_fizika/kosinusnaya\\_mera](https://studbooks.net/2244345/matematika_himiya_fizika/kosinusnaya_mera) [in English].

UDC 004.056.57

Volodymyr Kazymyr, Igor Karpachev, Anna Usik

## MODELS OF THE SYSTEM OF SECUTIRY OS ANDROID

**Urgency of the research.** Storing user's private and confidential information have been widely used today by users of mobile applications. Methods and ways of spreading malware in the Android operating system are growing at the same time. A new and improved approach to Android OS access model analysis is needed for effective protection. The article deals with the development of new models based on the standard LSI method, statistical and categorical analysis of various Google services, which will lead to improvement in the existing security system.

**Target setting.** In the area of ensuring the safe and efficient operation of mobile applications, functional and information security are considered as two fundamental components complementing each other. One of the most effective ways for an intruder to access confidential information is bypassing the single-point OS check of the system. One of the tools to improve the reliability of work is the development of continuous protection models.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Recent open publications were considered, including statistical data from Google Malware Project.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The development and mathematical justification of the models of continuous analysis of privileges in Android OS.

**The research objective.** Suggest a basic Android OS protection model based on the analysis of privileges.

**The statement of basic materials.** Proposed a model of continuous analysis of software applications, based on the analysis of permissions by latent semantic indexation.

**Conclusions.** The analysis and the defects of the basic approach of protection of OS "Android Permission" in which one-time verification of application work is carried out is shown. There are also provided the most representative results of the testing of the given models for various variants of the training sample.

**Keywords:** security; security system; functional security; security system algorithm; Android OC protection model; latent semantic indexing; LSI.

Fig.: 9. Table: 2. References: 9.

УДК 004.056.57

Владимир Казимир, Игорь Карпачев, Анна Усик

## МОДЕЛИ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ОС ANDROID

**Актуальность темы исследования.** На сегодняшний день получило широкое распространение использование пользователями мобильных устройств и приложений с целью хранения частной и конфиденциальной информации. Наряду с этим растут методы и пути распространения вредоносного программного обеспечения в ОС Android. Для эффективной борьбы с распространением необходим новый и улучшенный подход к анализу моделей прав доступа ОС Android. В статье

рассмотрена разработка новых моделей которые базируются на стандартном методе LSI, статистическом и категориальном анализ различных сервисов Google, что позволит улучшить существующую систему безопасности.

**Постановка проблемы.** В области обеспечения безопасной и эффективной работы мобильных приложений функциональная и информационная безопасность рассматриваются как две фундаментальные составляющие, взаимодополняют друг друга. Одним из самых эффективных способов получения злоумышленников доступ к конфиденциальной информации является обход системы однократной проверки ОС Android. Одним из средств повышения надежности работы является разработка моделей непрерывного защиты.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая статистические данные Google Malware Project.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Разработка и математическое обоснование моделей непрерывного анализа привилегий в ОС Android.

**Постановка задачи.** Предложить базовую модель защиты ОС Android основанный на анализе привилегий.

**Изложение основного материала.** Предлагается модель непрерывного анализа программных приложений, основанный на анализе разрешений методом латентно-семантической индексации.

**Выводы в соответствии со статьей.** Проведен анализ и показаны недостатки базового подхода защиты ОС «Android Permission» при котором осуществляется одноразовая проверка работы приложений. Также приведены наиболее репрезентативные результаты тестирования приведенных моделей для различных вариантов обучающей выборки.

**Ключевые слова:** безопасность; система безопасности; функциональная безопасность; алгоритм систем безопасности; модель системы защиты ОС Android; латентно-семантическая индексация; программное обеспечение; LSI.

Рис.: 9. Табл.: 2. Библ.: 9.

**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:** <https://orcid.org/0000-0001-8163-1119>

**Scopus Author ID:** 56644727300

**Карпачев Ігор Ігорович** – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Карпачев Игорь Игоревич** – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Karpachev Igor** – Phd student, Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1910-3264>

**ResearcherID:** R-3626-2016

**Усік Анна Миколаївна** – аспірант кафедри інформаційних та комп'ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Усик Анна Николаевна** – аспирант кафедры информационных и компьютерных систем, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Usik Anna** – Phd student, Department of Informational and Computer Systems, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** usik18@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4965-6863>

*Наталія Кунах, Людмила Харлай, Олексій Коновалов,  
Костянтин Нікіфоренко, Юлія Сотніченко, Юрій Матюшичев*

## ОСОБЛИВОСТІ БЕЗПРОВІДНОГО АБОНЕНТСЬКОГО ДОСТУПУ З ВИКОРИСТАННЯМ ОПТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Актуальність теми дослідження.** Технологія Wi-Fi використовується для побудови безпроводних локальних мереж Wi-Fi. Недоліками Wi-Fi технології є використання радіоканалу, інтерференція, низька безпека й захищеність даних і самих мереж Wi-Fi. Тому є потреба в модифікації безпроводового доступу.

**Постановка проблеми.** Усунення недоліків дасть змогу забезпечити користувачів високонадійним та швидкісним зв'язком. Запропоновано модифікацію безпроводового доступу.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації з досвіду використання в локальних мережах оптичних технологій.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Можливість перехоплення інформаційних сигналів, що випромінюються через віконні отвори. Відсутність всеспрямованих оптичних антен.

**Постановка завдання.** Вдосконалення параметрів та характеристик локальних оптичних мереж доступу, зокрема підвищення рівня інформаційної захищеності.

**Виклад основного матеріалу.** У роботі проведено порівняльний аналіз двох систем безпроводного абонентського доступу. Показано, що система безпроводного доступу з використанням оптичних технологій має певні переваги, серед яких можна відзначити відсутність завад від сусідніх мереж та практично повну захищеність від перехоплення інформації. Запропоновано застосування світлодіодів ультрафіолетового діапазону для забезпечення відсутності витоку світлового сигналу через віконні отвори. Для побудови базаточкових систем локального оптичного зв'язку з випадковим розташуванням абонентів запропоновано використання оптичних циліндричних елементів із високим показником заломлення.

**Висновки відповідно до статті.** Побудова оптичних систем безпроводного зв'язку з використанням оптичних технологій має певні переваги перед безпроводними системами, що використовують радіотехнології.

**Ключові слова:** світло діод; оптичні безпроводні мережі; циліндричний оптичний елемент; розсіяння світла; показник заломлення; індикатриса розсіяння.

*Рис.: 6. Бібл.: 10.*

**Актуальність теми дослідження.** Технологія Wi-Fi була створена у 1998 році й використовується для побудови безпроводних локальних мереж Wi-Fi. Нині пристрої, що підтримують цю технологію, набули значного поширення, і технологія продовжує стрімко розвиватись і застосовуватись у всьому світі. Основні переваги застосування технології Wi-Fi полягає у відсутності проводів. Це радіозв'язок, який може об'єднувати між собою декілька пристроїв. Wi-Fi мережа особливо корисна в тих випадках, коли прокладання проводів недоцільне або взагалі неприпустиме. Wi-Fi мережі знайшли широке застосування при підключенні різних пристроїв не тільки між собою, але й до Інтернету. Ще однією перевагою можна вважати простоту створення сітки Wi-Fi. Стандартизація технології Wi-Fi дозволяє підключатися до мережі в будь-якій країні, хоча все ж є певні особливості її застосування.

У неї великий потенціал, але, як і у будь-якій іншій технології, поряд із перевагами є й недоліки.

Основним недоліком Wi-Fi технології можна вважати використання радіоканалу. Це зумовлює можливість перехоплення інформації. Крім того, у діапазоні 2,4 ГГц працює велика кількість інших пристроїв, таких, наприклад, які підтримують Bluetooth, та зокрема навіть мікрохвильові печі, що погіршує електромагнітну сумісність.

Ще однією з основних проблем, характерних для мереж Wi-Fi, є інтерференція, тобто перетин зон прийому від різних станцій та накладання сигналів від однієї станції, що прийшли різним шляхом. На якість зв'язку великий вплив робить навколишнє середовище. Особливо чутлива ця мережа до електромагнітних випромінювань, що створюються побутовими приладами. Передусім це позначається на швидкості передачі даних. Крім того, умови прийому та передачі погіршують стіни, залізобетонні перекриття, металеві перегородки та ін.

На додаток до цього, частотний діапазон у різних країнах не однаковий, а в певних випадках експлуатація Wi-Fi мереж потребує ліцензування та реєстрації оператора.

Для запобігання перехвату сигналу в технології Wi-Fi застосовується шифрування. Найбільш популярний стандарт шифрування WEP може бути відносно легко зламаний навіть при правильній конфігурації (через слабку стійкість алгоритму). Незважаючи на те, що нові пристрої підтримують досконаліший протокол шифрування даних WPA і WPA2, багато старих точок доступу не підтримують його і вимагають заміни. При цьому новий стандарт WPA2 потребує більш стійких паролів, ніж ті, що зазвичай використовуються.

При великій щільності Wi-Fi-точок, що працюють в одному або сусідніх каналах, вони можуть заважати один одному. Це позначається на якості з'єднання. Така проблема часто зустрічається в багатоквартирних будинках, в яких багато мешканців використовують цю технологію.

**Постановка проблеми.** Таким чином, має місце нагальна потреба в модифікації безпроводного доступу, яка може бути досягнута за рахунок використання оптичних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Накопичено значний світовий досвід з використання в локальних мережах оптичних технологій, причому вагомий внесок у розвиток оптичних технологій здійснили С. W. Chow, С. Н. Yeh, Y. Liu, Н. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи подальше вдосконалення параметрів та характеристик локальних оптичних мереж доступу, зокрема підвищення рівня інформаційної захищеності.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Рішення проблем безпроводного доступу з використанням оптичних технологій.

#### **Виклад основного матеріалу.**

*Оптичні технології для побудови локальних мереж.*

Нині є дуже перспективним розвиток безпроводного оптичного зв'язку на основі світлодіода (VLC). Світлодіод має унікальні характеристики, які дають можливість створювати нові додатки, які неможливо застосовувати з іншими видами джерел світла. Світлодіод може модулюватися при значно більш високих швидкостях, ніж традиційні джерела світла, такі, наприклад, як люмінесцентні лампи. Як наслідок, світлодіодне освітлення можна використовувати для видимого оптичного зв'язку та для оптичних безпроводних мереж усередині будівлі. Оптичний зв'язок може забезпечити безпечний зв'язок між мобільними пристроями. Враховуючи той факт, що промінь світла є видимим, користувач може гарантовано обмежити зону передачі даних, контролюючи зону освітлення, на відміну від Wi-Fi сигналів, що можуть проникати в сусідні кімнати чи приміщення. Крім того, через це користувачі з інших кімнат та будівель не можуть підключитись до конкретної мережі. На додаток до цього, вимоги до ліцензування внутрішньобудинкового зв'язку відсутні.

На сьогодні є дуже перспективним застосування світлодіодів у загальному освітленні. Світлодіод має переваги високої енергетичної ефективності, стійкості, компактного розміру, має тривалий термін використання і легко інтегрується в різні предмети. Пристрої світлодіодного освітлення можна використовувати для оптичного зв'язку у видимому діапазоні [1].

Безпроводна технологія оптичного зв'язку може забезпечити безкабельне середовище передавання. На рис. 1 зображено безпроводний «розумний будинок», в якому надаються мультисервісні послуги (телебачення, телефонний зв'язок, Інтернет) з використанням оптичного зв'язку [1]. Оптичний зв'язок може бути єдиним вирішенням проблеми безпроводного зв'язку у випадках, коли відсутній виділений діапазон частот для Wi-Fi. Він може використовуватися в медичних закладах або на борту літака без електромагнітних перешкод.





Рис. 1. Використання світлодіодного освітлення для побудови локальних мереж

Нині відбувається стандартизація світлодіодного зв'язку. Так, стандарт IEEE (IEEE 802.15.7 – безпроводний оптичний зв'язок із малим радіусом дії з використанням видимого світла) був затверджений у 2011 році [2], тим самим збільшуючи перспективи комерціалізації технологій оптичного зв'язку. Він охоплює як радіо інтерфейс фізичного рівня (PHY), так і управління доступом до середовища передачі (MAC). При цьому забезпечується стійкість до взаємного впливу з радіотехнічними системами.

Підвищення швидкості передачі оптичного зв'язку всередині приміщень.

Є два основних типи структури пристроїв для створення білого світлодіода, які використовуються в освітленні. Перший тип складається з блакитного світлодіодного чипа зі шаром люмінофора, покритого поверх нього. Коли електричний струм підводиться до світлодіодного чипа, випромінюється блакитне світло, і частина його поглинається люмінофором, щоб створити другий колір – жовте світло. У результаті поєднання блакитного та жовтого світла створюється біле світло. Інший тип світлодіоду створюється шляхом поєднання трьох основних кольорових чипів (RGB). Три чипи випромінюють по одному кольору одночасно і в результаті створюється біле світло. Перевагою люмінофору для створення білого світлодіода є його невисока вартість. Однак люмінофорне перетворення світла робить діод непридатним для високошвидкісної прямої модуляції, тому що час спрацьовування люмінофору є значно більшим, ніж світлодіодного чипа, і швидкість прямої модуляції зазвичай обмежена до кількох МГц. Цей недолік став причиною кількох досліджень, які б мали покращити швидкість прямої модуляції білого світлодіода.

Одним із підходів для покращення прямої швидкості модуляції є використання блакитного оптичного фільтра в приймачах, щоб усунути повільну реакцію жовтого світла. Проте це призводить до втрати потужності, тому що вся енергія у видимому оптичному спектрі, крім блакитної частини, блокується і, як наслідок, обмежує відстань передачі за допомогою оптичного зв'язку.

За рахунок попереднього вирівнювання та подальшого вирівнювання характеристики світлодіода може бути досягнута швидкість модуляції 40 Мбіт/с та 80 Мбіт/с з попередньо вирівняною on-off-маніпуляцією передачі (ООК) без використання та з використанням оптичного блакитного фільтра, і 100 Мбіт/с при подальшому вирівнюванні on-off-маніпуляції (ООК) повідомляється в роботах [3], [4] та [5] відповідно.

Шляхом оптимізації електронної схеми, оптичний зв'язок зі швидкістю в 125 Мбіт/с при коефіцієнті помилок нижче  $2 \times 10^{-3}$  може бути досягнутий. Використання в приймачах замість PIN-діода фотодіодів з лавинним множенням (APD) може збільшити швидкість передачі до 230 Мбіт/с [6].

Іншим підходом до збільшення швидкості передачі даних є використання передових форматів модуляції. Ортогональне частотне розділення каналів (OFDM) може бути використане для покращення спектральної ефективності. Реалізація бітів та методів енергетичного навантаження піднесучих (subcarriers) сигналів ортогонального частотного

розділення каналів підвищує швидкість до 231 Мбіт/с (з використанням PIN-діодів) та до 513 Мбіт/с (з використанням лавинних фотодіодів (APD)) як це було показано в роботі [7]. Також у наступних роботах було продемонстровано швидкість передачі даних 803 Мбіт/с із застосуванням кольорових світлодіодів, які дозволяють використовувати спектральне ущільнення (WDM) для передачі даних різних каналів різними кольорами, що випромінюють такі світлодіоди. Крім використання спектрального ущільнення, може бути застосовано паралельну передачу даних із залученням декількох світлодіодів. Це також дозволяє збільшити швидкість передачі даних у видимому діапазоні.

*Проблеми захисту інформації в локальних оптичних мережах.*

Як було зазначено вище, основним недоліком Wi-Fi технології можна вважати використання радіоканалу. Це зумовлює можливість перехоплення інформації. Крім того, у робочому діапазоні технології працює велика кількість інших пристроїв, що помітно погіршує електромагнітну сумісність. Перехід безпроводних технологій в оптичний діапазон значно полегшує вирішення цих питань, оскільки проблеми з завадами більше не мають місця, а за межі глухих стін оптичне випромінювання не поширюється. Залишаються лише проблеми з витоком світлового сигналу через вікна, якщо вони виходять назовні. У цьому випадку для формування локальних мереж необхідно використати спеціальні світлодіоди, з робочою довжиною хвилі, яка розташована за межами діапазону видимого світла ( $\lambda \sim 0,38\text{--}0,75$  мкм) та відповідно за межами смуги пропускання віконного скла. Такими світлодіодами можуть бути, наприклад, діоди, що випромінюють у довгохвильовій (ближній) частині ультрафіолетового діапазону з довжиною хвилі близько  $\lambda \sim 0,3\text{--}0,35$  мкм. Віконне скло в цьому випадку має досить високу захисну дію (великі втрати) щодо ультрафіолетового випромінювання. Для подальшого підвищення цієї дії можна використовувати скло з нанесенням додаткового покриття, яким може бути, наприклад, плівка двоокису германію ( $\text{GeO}_2$ ), діапазон прозорості якої лежить в межах 0,4–16 мкм [8]. Тобто включає в себе діапазон видимого світла та виключає ультрафіолетовий. Аналогічні властивості притаманні також і плівці двоокису олова  $\text{SnO}_2$ . Замість нанесення покриття домішки цих матеріалів можна вносити у склад звичайного скла у процесі його виготовлення.

Отже, можна забезпечити практично повний захист інформації від перехоплення її за рахунок витоку електромагнітного випромінювання за межі приміщення.

Крім того, у разі використання для передавання інформації світлодіодів, призначених для функціонування на певній довжині хвилі, додатковою перевагою є те, що їм не властиві ті обмеження у швидкості передавання, які притаманні для світлодіодів освітлення.

*Формування діаграми спрямованості джерела світлового сигналу в умовах приміщення.*

Для формування безпроводної оптичної мережі в межах приміщення з випадковим розміщенням термінального обладнання необхідно сформувавши діаграму спрямованості з рівномірним кутовим розподіленням потужності випромінювання або наближену до неї. Зокрема, становить інтерес дослідження кутових селективних властивостей циліндричних оптичних елементів з метою використання їх у системах оптичного зв'язку.

У роботі [9] були розглянуті дисперсійні характеристики індикатриси розсіяння циліндричних оптичних елементів із величиною показника заломлення такого, що не перевищує 2,25. При цьому є багато оптичних матеріалів з показниками заломлення, які перевищують це значення. Так, наприклад, значення показника заломлення матеріалу  $\text{ZnTe}$  в інфрачервоному діапазоні становить 5,3 [8]. Крім того, успіхи в розвитку нанотехнологій дозволяють створювати (синтезувати) так звані гетеросредини. Гетерогенні середовища складаються з матриці – діелектрика або напівпровідника з металевими, діелектричними, напівпровідниковими, ферромагнітними і ферроелектричними наночастками, розміри яких набагато менше довжини хвилі падаючого електромагнітного випромінювання. Використовуючи різні матеріали для наночасток можна змінювати показник заломлення гетерогенного середовища у широких межах і в заданому діапазоні

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

довжин хвиль. Таким чином, становлять інтерес особливості оптичних характеристик кутових селективних елементів із значенням показника заломлення, що перевищує показник заломлення типових оптичних матеріалів [8]. Індикатриса розсіяння для оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 2,5$  наведена на рис. 2 [10].

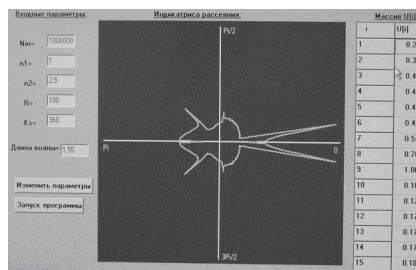


Рис. 2. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 2,5$

Індикатриса розсіяння являє собою кутове розподілення інтенсивності розсіяного світла. Вид індикатриса залежить від показника заломлення оптичного елемента. Так, при підвищенні значення показника заломлення до 2,8 обидва піки в правій частині (рис. 2) об'єднуються в один (рис. 3).

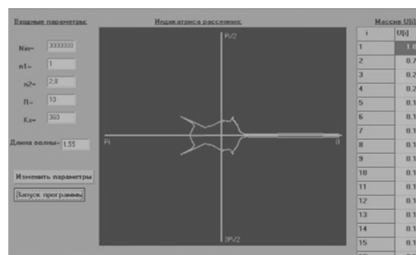


Рис. 3. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 2,8$

При подальшому збільшенні показника відбувається зміна характеру трансформації індикатриса розсіяння. При цьому зростання показника заломлення не супроводжується кутовим переміщенням піків у межах від 0 до  $\pi$  рад, як це було при менших значеннях  $n_2$  [9]. При збільшенні показника заломлення до значення  $n_2 = 3,8$  відбувається перерозподіл інтенсивності піків у протилежному напрямі (рис. 4). І це робить неможливим використання оптичних елементів як спектрально-селективних пристроїв у цьому діапазоні значень показників заломлення.

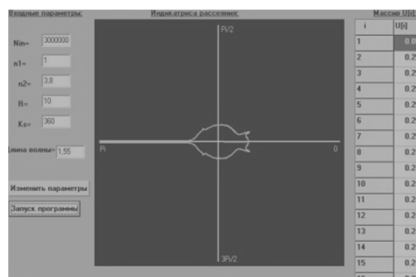


Рис. 4. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 3,8$

Подальше зростання показника заломлення до 5,0 також приводить до перерозподілу енергії піків у зворотному напрямі (рис. 5). Проте при цьому відносна величина піків менше в порівнянні із середнім рівнем інтенсивності розсіяння.

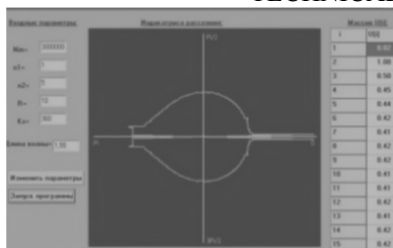


Рис. 5. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 5,0$

Збільшення показника заломлення до значень 5,6–6,5 приводить до такого перерозподілу інтенсивності розсіяного випромінювання, що піки зникають, а сама індикатриса має вигляд, представлений на рис. 6 ( $n_2 = 6,5$ ). При цьому відносна інтенсивність розсіяного сигналу змінюється в кутових межах досить незначно. І лише у вузьких межах  $\pm 1^\circ$  в напрямі падіння світлового пучка і в межах  $\pm 1^\circ$  у зворотному напрямку вона зменшується до 0,07 і 0,02 відповідно.

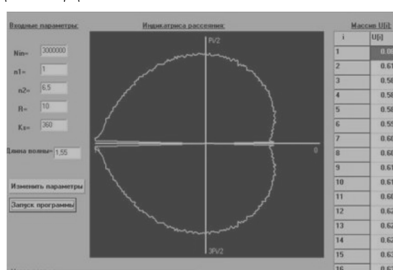


Рис. 6. Індикатриса розсіяння циліндричного оптичного елемента з показником заломлення  $n_2 = 6,5$

Таким чином, циліндричний оптичний елемент при великих значеннях показника заломлення ( $\geq 5,6$ ) з хорошим ступенем рівномірності й за відсутності піків функціонує в режимі квазірівномірного розсіяння світла. Подальше підвищення показника заломлення підтверджує цей результат. Практичне використання елементів із практично рівномірними індикатрисами, на нашу думку, є доцільним для локальних систем оптичного зв'язку на основі світлодіоду з багатьма об'єктами, розташованими в різних напрямках. При цьому ці елементи можуть бути застосовані як для передавальних, так і для приймальних пристроїв. Аналогом застосування подібних елементів у радіотехніці є використання антен з круговою діаграмою спрямованості.

**Висновки відповідно до статті.** Як показали результати досліджень, побудова оптичних систем безпроводного зв'язку з використанням оптичних технологій має певні переваги перед безпроводними системами, що використовують радіотехнології. Серед цих переваг слід відзначити відсутність завад від сусідніх систем та побутових пристроїв і практично повну захищеність від перехоплення інформації. З цією метою в роботі для унеможливлення витoku світлового сигналу через вікна в роботі запропоновано використання світлодіодів, що функціонують в ультрафіолетовому діапазоні.

У роботі також запропоновано новий принцип формування індикатриса випромінювання джерела інформаційного сигналу, що забезпечує практично рівномірне кутове розподілення випромінювання в межах приміщення з випадковим розміщенням термінального обладнання. Це формування відбувається за рахунок застосування циліндричного оптичного елемента. При збільшенні величини показника його заломлення до  $n = 5,6$  і вище оптичний елемент починає функціонувати в режимі кутового розсіювання світла з досить хорошим ступенем рівномірності. Отже, у цьому режимі такі елементи можуть бути використані для багатоточкових систем локального оптичного зв'язку в передавальних і приймальних пристроях.

**Список використаних джерел**

1. *Digital Signal Processing for Light Emitting Diode Based Visible Light Communication* / C. W. Chow, C. H. Yeh, Y. Liu, and Y. F. Liu // *IEEE Photonics society newsletter*. – 2012. – Vol. 26, № 5. – Pp. 9–13.
2. *IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks (2011). Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light*, IEEE Std 802.15.7-2011, pp. 1–309. DOI: 10.1109/IEEESTD.2011.6016195.
3. *High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization* / H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh // *IEEE Photon. Technol. Lett.* – 2008. – Vol. 20. – Pp. 1243–1245. DOI:10.1109/LPT.2008.926030.
4. H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh (2008). 80 Mbit/s visible light communications using pre-equalized white LED. In Proc. *34th European Conference on Optical Communication in Proc. European Conference on Optical Communication*, Paper P.6.09. DOI: 10.1109/ECOC.2008.4729532.
5. H. Le-Minh, D. O'Brien, G. Faulkner, L. Zeng, K. Lee, D. Jung, and Y. Oh (2009). 100-Mb/s NRZ visible light communications using a post-equalized white LED // *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 21, pp. 1063–1065. DOI: 10.1109/LPT.2009.2022413.
6. J. Vucic, C. Kottke, S. Nerreter, K. Habel, A. Buttner, K.-D. Langer, and J. W. Walewski (2010). 230 Mbit/s via a wireless visible-light link based on OOK modulation of phosphorescent white LEDs. In Proc. *Optical Fiber Communication Conference*, Paper OThH3.
7. *513 Mbit/s visible light communications link based on DMT modulation of a white LED* / J. Vucic, C. Kottke, S. Nerreter, K.-D. Langer, and J. W. Walewski // *J. Lightwave Technol.* – 2010. – Vol. 28. – Pp. 3512–3518. DOI: 10.1109/JLT.2010.2089602.
8. *Справочник технолога-оптика : справочник* / И. Я. Бубис, В. А. Вейденбах, И. И. Духопел и др. ; под общ. ред. С. М. Кузнецова. – Л. : Машиностроение, 1983. – 414 с.
9. Manko V. A. Optical spectral-selective elements, using effect of the light scattering / Manko V. A., Manko A. A. // *Laser and Fiber-Optical Networks Modeling [“LFNM’2010”]*: 10<sup>th</sup> international conf., 12-14 September 2010, Proceedings. – Sevastopol, Crimea, 2010. – Pp. 170–171. DOI: 10.1109/LFNM.2010.5624208.
10. Манько А. А. Особенности характеристик оптических спектрально-селективных элементов с повышенным показателем преломления / А. А. Манько // *Вісник Харківського національного університету імені В. І. Каразіна. Серія «Радіофізика та електроніка»*. – 2011. – № 983, вип. 19. – С. 67–71.

**References**

1. Chow, C. W., Yeh, C. H., Liu, Y. & Liu, Y. F. (2012). Digital Signal Processing for Light Emitting Diode Based Visible Light Communication. *IEEE Photonics society newsletter*, 26 (5), 9–13.
2. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks (2011). Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, *IEEE Std 802.15.7-2011*, 1–309. DOI: 10.1109/IEEESTD.2011.6016195.
3. Le-Minh, H., O'Brien, D., Faulkner, G., Zeng, L., Lee, K., Jung, D. & Oh, Y., (2008). High-speed visible light communications using multiple-resonant equalization. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 20, 1243–1245. DOI:10.1109/LPT.2008.926030.
4. Le-Minh H., O'Brien D., Faulkner G., L. Zeng, K. Lee, D. Jung, & Y. Oh (2008). 80 Mbit/s visible light communications using pre-equalized white LED. In Proc. *34th European Conference on Optical Communication in Proc. European Conference on Optical Communication*, Paper P.6.09. DOI: 10.1109/ECOC.2008.4729532.
5. Le-Minh, H., O'Brien, D., Faulkner, G., Zeng, L., Lee, K., Jung, D. and Oh, Y. (2009). 100-Mb/s NRZ visible light communications using a post-equalized white LED. *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 21, 1063–1065. DOI: 10.1109/LPT.2009.2022413.
6. Vucic, J., Kottke, C., Nerreter, K., Habel, A., Buttner, K.-D., Langer & Walewski, J. W. (2010). 230 Mbit/s via a wireless visible-light link based on OOK modulation of phosphorescent white LEDs. In Proc. *Optical Fiber Communication Conference*, Paper OThH3.
7. Vucic, J., Kottke, C., Nerreter, S., Langer, K.-D. & Walewski, J. W. (2010). 513 Mbit/s visible light communications link based on DMT modulation of a white LED. *J. Lightwave Technol.*, 28, 3512–3518. DOI: 10.1109/JLT.2010.2089602.

8. Bubis, I. Ia., Veidenbakh, V. A., Dukhopel, I. I., Kuznetsov S. M. (Ed.) (1983). *Spravochnik tekhnologa-optika [Reference book of the technologist-optician]*. Leningrad: Mashinostroenie [in Russian].

9. Manko, V. A., Manko, A. A. (2010). Optical spectral-selective elements, using effect of the light scattering. *Proceedings 10th International Conf. "Laser and Fiber-Optical Networks Modeling "LFNM'2010"* (12-14 September 2010) (pp. 170-171). Sevastopol, Crimea (Ukraine). DOI: 10.1109/LFNM.2010.5624208.

10. Manko, A. A. (2010). Osobennosti kharakteristik opticheskikh spektralno-selektivnykh elementov s povyshennym pokazatelem prelomleniia [Features of the characteristics of optical spectral-selective elements with increased index of refraction]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. Y. Karazina. Serii «Radiofizyka ta elektronika» – Bulletin of the Kharkiv National University named after VI Karazin Series «Radiophysics and Electronics», 983 (19), 67–71 [in Russian].*

UDC 621.372.544

*Nataliia Kunakh, Liudmila Kharlai, Oleksii Konovalov,  
Kostiantyn Nikiforenko, Yuliia Sotnichenko, Yurii Matiushychev*

### FEATURES OF WIRELESS SUBSCRIBER ACCESS USING OPTICAL TECHNOLOGIES

**Urgency of the research.** *Wi-Fi technology is used to build wireless Wi-Fi networks. Disadvantages of Wi-Fi technology are the use of radio channels, interference, low security and security of data and the Wi-Fi networks themselves. Therefore, there is a need for modification of wireless access.*

**Target setting.** *Eliminating shortcomings will provide customer with high-reliability and high-speed communication. Modification of wireless access is proposed.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *The latest publications from experience in the use of optical technologies in local networks were considered.*

**Allocation of unresolved parts of a common problem.** *Solution of problems of wireless access using optical technologies.*

**Uninvestigated parts of general matters defining.** *Setting the goals and objectives of the study. Improvement of parameters and characteristics of local optical access networks, in particular, increase of the level of information security.*

**The statement of basic materials.** *A comparative analysis of two systems of wireless user access has been carried out. It has been shown that the wireless access system using optical technologies has several advantages. Among them, one can note the absence of interference from adjacent networks and virtually complete protection against interception of information. The work proposes the use of ultraviolet light emitting diodes to ensure that there is no leakage of light signals through the window openings. For the construction of multipoint systems of local optical communication with random location of subscribers, it has been proposed to use optical cylindrical elements with a high refractive index.*

**Conclusions.** *The construction of optical systems for wireless communications using optical technologies has several advantages over wireless systems using radio technology.*

**Keywords:** *LED; optical wireless networks; cylindrical optical element; scattering of light; refractive index; scattering indicatrix.*

*Fig.: 6. References: 10.*

УДК 621.372.544

*Наталья Кунах, Людмила Харлай, Алексей Коновалов,  
Константин Никифорова, Юлия Сотниченко, Юрий Матюшичев*

### ОСОБЕННОСТИ БЕСПРОВОДНОГО АБОНЕНТСКОГО ДОСТУПА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОПТИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Актуальность темы исследования.** *Технология Wi-Fi используется для построения беспроводных локальных сетей Wi-Fi. Недостатками Wi-Fi технологии является использование радиоканала, интерференция, низкая безопасность и защищенность данных и самих сетей Wi-Fi. Поэтому существует потребность в модификации беспроводного доступа.*

**Постановка проблемы.** *Устранение недостатков позволит обеспечить пользователей высоконадежной и скоростной связью. Предлагается модификация беспроводного доступа.*

**Анализ последних исследований и публикаций.** *Были рассмотрены последние публикации из опыта использования в локальных сетях оптических технологий.*

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** *Решение проблем беспроводного доступа с использованием оптических технологий.*

**Постановка задачи.** *Совершенствование параметров и характеристик локальных оптических сетей доступа, в частности повышение уровня информационной защищенности.*

**Изложение основного материала.** *В работе проведен сравнительный анализ двух систем беспроводного абонентского доступа. Показано, что система беспроводного доступа с использованием оптических технологий имеет ряд преимуществ, среди которых можно отметить отсутствие помех от соседних сетей и практически*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*полная защищенность от перехвата информации. В работе предложено применение светодиодов ультрафиолетового диапазона для обеспечения отсутствия утечки светового сигнала через оконные проемы. Для построения многоточечных систем локальной оптической связи со случайным расположением абонентов предложено использование оптических цилиндрических элементов с высоким показателем преломления.*

**Выводы в соответствии со статьей.** Построение оптических систем беспроводной связи с использованием оптических технологий имеет ряд преимуществ перед беспроводными системами, использующими радиотехнологии.

**Ключевые слова:** светодиод; оптические беспроводные сети; цилиндрический оптический элемент; рассеяние света; показатель преломления; индикатриса рассеяния.

*Рис.: 6. Библ.: 10.*

**Кунах Наталія Ігорівна** – доктор технічних наук, професор, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Кунах Наталья Игоревна** – доктор технических наук, профессор, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Kunakh Nataliia** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

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

**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).

**Kharlai Liudmila** – Competitor, 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

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-7633-933X>

**Коновалов Олексій Юрійович** – кандидат технічних наук, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Коновалов Алексей Юрьевич** – кандидат технических наук, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Konovalov Oleksii** – PhD in Technical Sciences, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** googl.wes@gmail.com

**Нікіфоренко Костянтин Борисович** – кандидат технічних наук, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Никифоренко Константин Борисович** – кандидат технических наук, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Nikiforenko Kostiantyn** – PhD in Technical Sciences, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

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

**Сотніченко Юлія Олексіївна** – викладач вищої категорії, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Сотниченко Юлия Алексеевна** – преподаватель высшей категории, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Sotnichenko Yuliia** – lecturer high category, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

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

**Матюшичев Юрій Артемович** – викладач вищої категорії, Київський коледж зв'язку (вул. Леонтовича, 11, м. Київ, 01030, Україна).

**Матюшичев Юрий Артемович** – преподаватель высшей категории, Киевский колледж связи (ул. Леонтовича, 11, г. Киев, 01030, Украина).

**Matushychev Yurii** – lecturer, Kiev College of Communication (11 Leontovicha Str., 01030 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** prawn@yandex.com

УДК 531.7.08

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-136-141

Андрій Дуднік

## МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ОБ'ЄКТАМИ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ ЗАСОБАМИ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ФАЗОМЕТРА

**Актуальність теми дослідження.** Нині безпроводні сенсорні мережі є важливим інструментом для дослідження фізичного світу. Їхня важливість пов'язана з новими можливостями використання, завдяки таким характеристикам, як відсутність необхідності в кабельній інфраструктурі, мініатюрних вузлах, низькому енергоспоживанні, вбудованому радіоінтерфейсі, досить високій потужності передачі, відносно низькій вартості. Тому існує проблема створення нових засобів, що покращили б ефективність їх використання, що б дало змогу розширити сфери застосування.

**Постановка проблеми.** У процесі розроблення таких систем розробникам доводиться вирішувати суперечність між зниження точності вимірювання відстані, зі зростанням дальності розташування об'єктів, обмеженою потужністю передавачів і дорогою вартістю спеціальних вузлів, що отримують точні координати із супутника. Наявність цих обмежень підвищує імовірність похибок при локалізації об'єктів у безпроводних сенсорних мережах.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи існуючі алгоритми вимірювання відстані та задачі енергоефективності передавачів.

**Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми.** Підвищення точності вимірювання відстані засобів, що використовують існуючі алгоритми вимірювання відстані.

**Постановка завдання.** Удосконалення методу вимірювання відстані пристроями безпроводних сенсорних мереж, шляхом застосування мікропроцесорних фазометрів.

**Виклад основного матеріалу.** Локалізація об'єктів відбувається за допомогою методу TDOA (Time Difference of Arrival). Дані, що були одержані після використання цього методу, надсилаються до мікропроцесорного фазометра, який визначає період між фазами радіо- та ультразвукового сигналу, що є пропорційною величиною до відстані між об'єктами.

**Висновки відповідно до статті.** Запропонований метод дозволяє покращити точність процесу локалізації об'єктів у безпроводних сенсорних мережах.

**Ключові слова:** бездротова сенсорна мережа; локалізація; відстань; мікропроцесорний фазометр; похибка.

Рис.: 3. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Нині безпроводні сенсорні мережі є важливим інструментом для дослідження фізичного світу. Їхня важливість пов'язана з новими можливостями використання, завдяки таким характеристикам, як відсутність необхідності в кабельній інфраструктурі, мініатюрних вузлах, низькому енергоспоживанні, вбудованому радіоінтерфейсі, досить високій потужності передачі, відносно низькій вартості. Тому існує проблема створення нових засобів, що покращили б ефективність їх використання, що б дало змогу розширити сфери застосування.

**Постановка проблеми.** Проблема локалізації була досліджена в минулому, оскільки в багатьох програмах важливою є інформація про розташування об'єктів або людей, і для їх вирішення розроблено велику кількість систем. Найбільш відомою з них є система глобального позиціонування (GPS).

Проте підхід GPS не може застосовуватися до безпроводних сенсорних мереж у зв'язку з його вимогами щодо наявності великої кількості додаткової інфраструктури (наприклад, супутників).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питанням дослідження інформаційно-вимірювальних систем, у тому числі й дослідженням технологій моделювання, управління і взаємодії комп'ютеризованих систем вимірювання механічних величин (зокрема відстані між об'єктами), присвячено роботи сучасних учених, серед яких:

- роботи [1–3], які присвячені вимірюванню відстані засобами вимірювальної техніки;
- роботи [4–8], які присвячені вимірюванню відстані засобами безпроводних сенсорних мереж;
- роботи [9–13], які, крім вимірювання відстані, також присвячені аналізу характеристик самих сенсорних мереж.

У роботі [1] пропонується використовувати Інтернет для управління вимірювальною голівкою, але в аналізі та корегуванні результатів вимірювання Інтернет участі не бере. Зміст роботи [2] присвячений розробці аналогових інтерфейсів інформаційних вимірювальних систем, але в ній не розглядаються засоби збільшення їхньої продуктивності.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вності. У роботі [3] йдеться про корекцію похибок вимірювання через інформаційно-вимірювальну систему, але пропонується використовувати кабельний зв'язок. У роботі [4] проводиться загальний огляд наявних технологій сенсорних мереж та лише аналізуються їхні недоліки. У роботах [5; 6] розглянуто алгоритми локалізації, що можуть покращити процес вимірювання відстані між об'єктами. У роботах [7; 8] досліджено наявні проблеми об'єднання сенсорних мереж та шляхи їх вирішення. У роботах [9–13] йдеться про методи локалізації, що застосовують супутникові навігаційні системи, зокрема в роботі [13] також йдеться про енергозберігаючі технології для сенсорних мереж.

У цій роботі пропонується розглянути рекомендації щодо поліпшення технічних характеристик безпроводних сенсорних мереж шляхом додаткового застосування в пристроях мережі мікропроцесорних фазометрів з метою покращення точності вимірювання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Підвищення точності вимірювання відстані засобів, що використовують існуючі алгоритми локалізації, шляхом уведення додаткових засобів вимірювальної техніки.

**Метою дослідження** є аналіз принципу роботи мікропроцесорного фазометра, розробка алгоритму його роботи та структурної схеми.

#### Виклад основного матеріалу.

**Метод *Time Difference of Arrival*.** Метод *TDoA* заснований на відмінності часів, коли єдиний сигнал від одного вузла прибуває в три або більше вузли або різниці часу, коли кілька сигналів від одного вузла надходять в інший вузол.

Перший випадок більш поширений у стільникових зв'язках, вимагає точно синхронізованих вузлів приймача (у цьому випадку, базові станції).

У другому випадку, більш поширеному й підходящому для БСМ, вузли повинні бути обладнані додатковими апаратними засобами, здатними до відправлення двох типів сигналів одночасно. У цих сигналів повинні бути різні швидкості поширення, як радіо/ультразвук або радіо/акустичний. Зазвичай, перший сигнал – пакет безпосередньо, який зі швидкістю світла ( $\sim 300,000 \text{ km/c}$ ), і другий сигнал – деякий звук, через його повільніше поширення ( $\approx 340 \text{ м/c}$ ).

На рис. 1 наведено приклад методу *TDoA*, який використовується для обчислення координат БСМ, де ультразвуковий імпульс передається одночасно з радіосигналом.

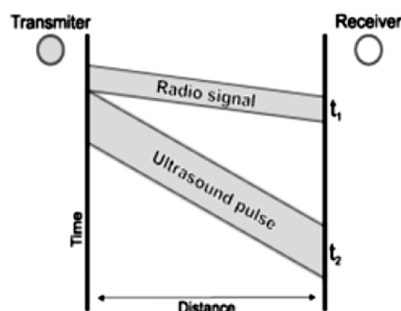


Рис. 1. Визначення відстаней за допомогою методу *TDOA* (*Time Difference of Arrival*)

У цьому випадку вузли вираховують різницю часу прибуття двох сигналів. Відстань може тепер бути обчислена такою формулою:

$$d = (s_r - s_s)(t_2 - t_1),$$

де  $s_r$  і  $s_s$  – швидкість поширення радіо- та ультразвукового сигналу;  $t_1$  і  $t_2$  – час прибуття радіо- та ультразвукових сигналів відповідно.

Оцінка похибки на відстані, отримані *TDOA*, вимірюються в сантиметрах. Експерименти з ультразвуком показують похибки приблизно два або три сантиметри, що є меншим самого вузла.

Незважаючи на більш низькі похибки, у цих методах є певні недоліки. Перший – потреба в додаткових апаратних засобах, щоб надсилати другий сигнал, який збільшує вартість вузла. Другий – діапазон другого сигналу, який зазвичай менший ніж 3 і 10 м з більш потужними передавачами.

**Мікропроцесорний фазометр.** Принцип дії мікропроцесорного фазометра ґрунтується на перетворенні різниці фаз радіо- та ультразвукового сигналу з часом прибуття  $t_1$  і  $t_2$ , що мають напругу  $u_1$  і  $u_2$  у часовий інтервал  $t_x$  з його наступним квантуванням імпульсами зразкової частоти  $f_0$ . На рис. 2 наведено алгоритм роботи мікропроцесорного фазометра.

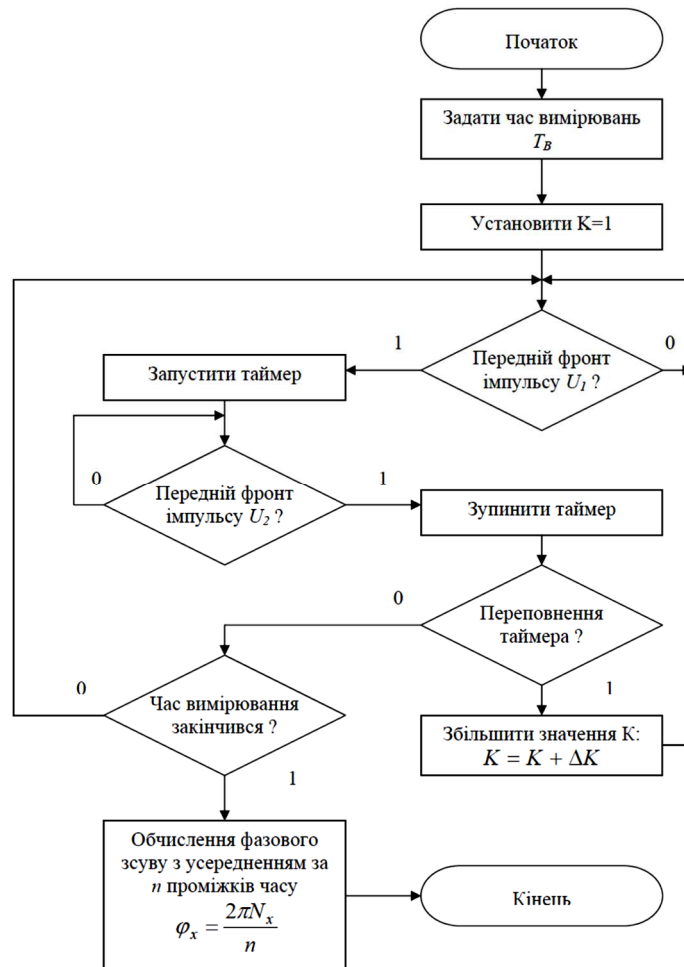


Рис. 2. Алгоритм роботи мікропроцесорного фазометра

Основними елементами фазометра є блоки узгодження сигналів  $u_1$  і  $u_2$ , мікроконтролер  $MCU$ , кварцовий резонатор частотою  $f_0$  і пристрій індикації.

Перед початком вимірювань встановлюють час вимірювань  $t_B$  і коефіцієнт подільника частоти  $K = 1$ .

У момент переходу напруги  $u_1$  через рівень нуля запускають таймер на рахування імпульсів  $f_0/K$ . Рахування проходить до переднього фронту імпульсу напруги  $u_2$ . При цьому робота таймера зупиняється, і підраховують кількість імпульсів  $N_x$ . Кількість імпульсів усереднюється в проміжку часу  $t_B = n \cdot f_x$ .

При виникненні переповнення таймера збільшують коефіцієнт подільника частоти  $K = K + \Delta K$  і повертаються на початок вимірювань. Фазовий зсув обчислюють за формулою

$$\phi_x = \frac{2\pi N_x}{n}.$$

На рис. 3 наведено структурну схему мікропроцесорного фазометра.

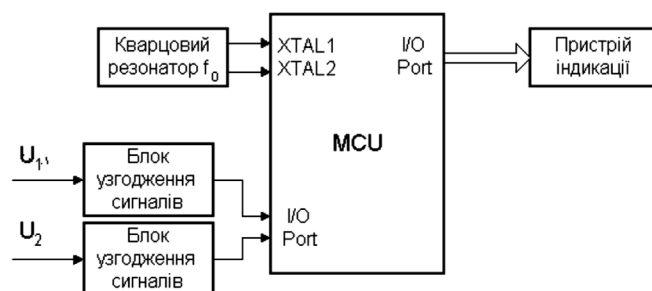


Рис. 3. Мікропроцесорний фазометр

**Висновок.** Запропоновано рекомендації щодо покращення технічних характеристик безпроводних сенсорних мереж, шляхом додаткового застосування в пристроях мережі мікропроцесорних фазометрів. З метою покращення точності вимірювання відстані.

### Список використаних джерел

1. Квасніков В. П. Концепція повірки координатно-вимірювальних машин через інтернет / В. П. Квасніков, Т. Хаєйн // Метрологія та прилади. – 2013. – № 6. – С. 48–53.
2. Способи побудови аналогових вимірювальних систем механічних величин / В. П. Квасніков, Д. П. Орнатський, Т. П. Нічікова, І. В. Гаврилов // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка і технологічних процесах». – 2013. – № 1 (42). – С. 164–169.
3. Орнатський Д. П. Аналоговий інтерфейс для дистанційних вимірювань переміщень диференціально-трансформаторними індуктивними датчиками / Д. П. Орнатський, М. В. Михалко, О. І. Осоловський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 1/2 (67). – С. 52–57.
4. *Wireless sensor networks: a survey*, Computer Networks / I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci // The International Journal of Computer and Telecommunications Networking. – 15 March, 2002. – 38 /4. – P. 393–422.
5. *Towards an integrated solution for node localization and data routing in sensor networks* / H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura, A. A. F. Loureiro // In ISCC '17: 22th IEEE Symposium on Computers and Communications, Aveiro, Portugal, July 2017. – P. 449–454.
6. *A novel location-free greedy forward algorithm for wireless sensor networks* / H. A. B. F. Oliveira, E. F. Nakamura, A. A. F. Loureiro // In Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Communications (ICC 2008), Beijing, China, May 2008. DOI: <http://doi.org/10.1109/icc.2008.402>.
7. *Brooks R. R. Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software* // R. R. Brooks, S. S. Iyengar // Prentice Hall, Englewood Cliffs. – NJ, 2009. – P. 120.
8. *Hofmann-Wellenho B. Global Positioning System: Theory and Practice*, 14th edition / Hofmann-Wellenho B., Lichtenegger H., Collins J. – Springer-Verlag, 2013.
9. *Intanagonwiwat C. Directed diffusion: A scalable and robust communication paradigm for sensor networks* / Intanagonwiwat C., Govindan R., Estrin D. // In Proceedings of the 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom '00), Boston, MA, August 2008, ACM Press, New York, P. 56–67.
10. *Niculescu D. Ad hoc positioning system (aps) using aoa* / Niculescu D., Nath B. // Proceedings of INFOCOM 2009, San Francisco, CA. – 2009. – P. 238. DOI: <http://doi.org/10.1109/infcom.2009.1209196>.
11. *Priyantha N. The cricket compass for context aware mobile applications* / Priyantha N., Balakrishnan H., Teller S. // In 17th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking. Rome, Italy, July 2016. – P. 325. DOI: <http://doi.org/10.1145/381677.381679>.
12. *Savvides A. Dynamic fine-grained localization in ad-hoc networks of sensors* / Savvides A., Han C., Strivastava M. // In 7th ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Rome, Italy, 2010. – P. 166–179.
13. *Govindan, R. & Estrin, D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. Technical Report CSD-TR-01-0023, UCLA Computer Science Department, 2011 [Electronic resource]. – Access mode : [https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?\\_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226](https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226).*

## References

1. Kvasnikov, V. P. & Khaein, T. M. (2013). Kontseptsia povirky koordynatno-vymiriuvalnykh mashyn cherez internet [Concept of verification of coordinate-measuring machines through the Internet]. *Metrolohiia ta prylady – Metrology and devices*, 6, 48-53 [in Ukrainian].
2. Kvasnikov, V. P., Ornatskyi, D. P., Nichikova, T. P. & Havrylov, I. V. (2013). Sposoby pobudovy analohovykh vymiriuvalnykh system mekhanichnykh velychyn [The methods for constructing analog interfaces for information measuring systems]. *Mizhnarodnyi naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Vymiriuvalna ta obchysliuvalna tekhnika i tekhnolohichnykh protsesakh» – International scientific-technical magazine «Measuring and Computing Devices in Technological Processes»*, 1 (42), 164–169 [in Ukrainian].
3. Ornatskyi, D. P., Mykhalko, M. V., & Osmolovskyi, O. I. (2014). Analohovi interfeis dlia dystantsiinykh vymiriuvan peremishchen dyferentsialnotransformatornymy induktyvnymy datchykamy [Analog interface for remote measurements by differential-transformer inductive sensors]. *Vostochno-Evropetskii zhurnal peredovykh tekhnologii – Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1/2(67), 52-57 [in Ukrainian].
4. Akyildiz, I. F., Su, W., Sankarasubramaniam, Y., & Cayirci, E. (2002). Wireless sensor networks: a survey, Computer Networks. *The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, 38 (4), 393-422 [in English].
5. Boukerche, A., Oliveira, H.A.B.F., Nakamura, E. F. & Loureiro, A. A. F. (2007). *IEEE Symposium on Computers and Communications*, (pp. 449–454) [in English].
6. Boukerche, A., Oliveira, H.A.B.F., Nakamura, E. F. & Loureiro, A. A. F. (2008). A Novel Location-Free Greedy Forward Algorithm for Wireless Sensor Networks / Boukerche A. et al. // 2008 IEEE International Conference on Communications. 2008. DOI: <http://doi.org/10.1109/icc.2008.402> [in English].
7. Brooks, R. R. & Iyengar, S. S. (2009). *Multi-Sensor Fusion: Fundamentals and Applications with Software*. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ [in English].
8. Hofmann-Wellenho, B., Lichtenegger, H. & Collins, J. (2013). *Global Positioning System: Theory and Practice*, Berlin: Springer-Verlag (14th Ed.) [in English].
9. Intanagonwiwat, C., Govindan, R. & Estrin, D. (2000). Directed diffusion. *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking–MobiCom'00* [in English].
10. Niculescu, D. & Nath, B. (2003). Ad hoc positioning system (APS) using AOA. *Proceedings of the IEEE INFOCOM 2003. Twenty-second Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE Cat. No.03CH37428)*. 2003. DOI: <http://doi.org/10.1109/infcom.2003.1209196> [in English].
11. Priyantha, N. B., Balakrishnan, H. & Teller, S. (2001). The cricket compass for context-aware mobile applications. *Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking –MobiCom '01*. 2001. DOI: <http://doi.org/10.1145/381677.381679> [in English].
12. Savvides, A., Han, C. C. & Strivastava, M. B. (2001). *Dynamic finegrained localization in Ad-Hoc networks of sensors*. Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile Computing and networking – MobiCom [in English].
13. Govindan, R. & Estrin, D. (2001). Geographical and Energy Aware Routing: a recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks. *pdfs.semanticscholar.org*. Retrieved from [https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?\\_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226](https://pdfs.semanticscholar.org/11ca/e1f847d741052bffba9af8d9fbd39973fd94.pdf?_ga=2.235051969.1371947614.1530007013-1007961932.1515747226) [in English].

UDC 531.7.08

Andrey Dudnik

## METHOD OF MEASUREMENT AGREED BETWEEN THE SENSOR NETWORKS BY THE MICROPROCESSOR PHASE METERS

**Urgency of the research.** At the moment, wireless sensor networks is an important tool for researching the physical world. Their importance is associated with new features of use, due to characteristics such as the lack of need for cable infrastructure, miniature nodes, low power consumption, built-in radio interface, high enough transmission power, relatively low cost. Therefore, there is a problem of creating new tools that would improve the efficiency of their use, which would allow to expand the scope.

**Target setting.** In the process of developing such systems, developers have to resolve the contradiction between reducing the accuracy of distance measurement, with increasing range of objects, the limited power of transmitters and the cost of special nodes receiving accurate coordinates from the satellite. The presence of these restrictions increases the likelihood of errors in the localization of objects in wireless sensory networks.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications were considered, including existing distance measurement and energy efficiency targets for transmitters.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Increase the accuracy of distance measurement of means using existing algorithms for measuring distance.

**The research objective.** Improvement of measurement method of distances by devices of wireless sensor networks, using microprocessor phase meters.

**The statement of basic materials.** Localization of objects occurs using the method of TDOA (Time Difference of Arrival). Data obtained after using this method is sent to the microprocessor phase meter, which determines the period between the phases of the radio and the ultrasonic signal, which is proportional to the distance between the objects.

**Conclusions.** The proposed method allows to improve the accuracy of the process of localization of objects in wireless sensory networks.

**Keywords:** wireless sensor network; localization; distance; microprocessor phase meter; error.

Fig.: 3. References: 13.

УДК 531.7.08

Андрей Дудник

## МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ОБЪЕКТАМИ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СРЕДСТВАМИ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ФАЗОМЕТРА

**Актуальность темы исследования.** На данный момент беспроводные сенсорные сети являются важным инструментом для исследования физического мира. Их важность связана с новыми возможностями использования, благодаря таким характеристикам, как отсутствие необходимости в кабельной инфраструктуре, миниатюрных узлах, низком энергопотреблении, встроенному радиointерфейсу, достаточно высокой мощности передачи, относительно низкой стоимости. Поэтому существует проблема создания новых средств, которые улучшили бы эффективность их использования, что дало бы возможность расширить сферы их применения.

**Постановка проблемы.** В процессе разработки таких систем разработчикам приходится решать противоречие между снижением точности измерения расстояния, с ростом дальности расположения объектов, ограниченной мощностью передатчиков и дорогой стоимостью специальных узлов, которые получают точные координаты со спутника. Наличие этих ограничений повышает вероятность ошибок при локализации объектов в беспроводных сенсорных сетях.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая существующие алгоритмы измерения расстояния и задачи энергоэффективности передатчиков.

**Выделение неисследованных ранее частей общей проблемы.** Повышение точности измерения расстояния средств, использующих существующие алгоритмы измерения расстояния.

**Постановка задачи.** Совершенствование метода измерения расстояния устройствами беспроводных сенсорных сетей, путем применения микропроцессорных фазометров.

**Изложение основного материала.** Локализация объектов происходит с помощью метода TDOA (Time Difference of Arrival). Данные, полученные после использования этого метода, направляются в микропроцессорный фазометр, который определяет период между фазами радио и ультразвукового сигнала, пропорциональный величине к расстоянию между объектами.

**Выводы в соответствии со статьей.** Предложенный метод позволяет улучшить точность процесса локализации объектов в беспроводных сенсорных сетях.

**Ключевые слова:** беспроводная сенсорная сеть; локализация; расстояние; микропроцессорный фазометр; погрешность.

Рис.: 3. Библ.: 13.

Дуднік Андрій Сергійович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри мережевих та інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033, Україна).

Дудник Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сетевых и интернет технологий, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко (ул. Владимирская, 60, г. Киев, 01033, Украина).

Dudnik Andrey – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Assistant Professor of Network and Internet Technologies Department, Taras Shevchenko Kyiv National University (60 Volodymyrska Str., 01033 Kyiv, Ukraine).

E-mail: a.s.dudnik@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1339-7820>

ResearcherID: N-4606-2018

УДК 004.9

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-142-150

Ольга Башинська, Юрій Камак, Сергій Нестеренко

**МЕТОД ДІАГНОСТИКИ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ  
БЕЗПЛОТНОГО АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ**

**Актуальність теми дослідження.** Перспективним напрямком розвитку програмно-апаратних засобів технічного діагностування є використання в їх складі інтелектуальних компонентів. Відомі засоби технічного діагностування орієнтовані на вирішення окремих вузькоспеціалізованих діагностичних задач і не забезпечують достатнього рівня універсальності, тому проблема підвищення ефективності діагностування за рахунок розробки та вдосконалення інтелектуальних засобів є актуальною і потребує подальших досліджень. Також актуальним є дослідження впливу різних факторів на роботу компонентів системи керування безпілотного авіаційного комплексу.

**Постановка проблеми.** Сучасні системи керування безпілотним авіаційним комплексом є складними комплексами, в яких відбувається тісна взаємодія різномісних підсистем. Використання БпАК у високотехнологічних сферах вимагає забезпечення високого рівня надійності функціонування СК БпАК та її компонентів. Одним із засобів підвищення надійності роботи є розробка і впровадження ефективних програмно-апаратних засобів діагностування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині в умовах глобальної автоматизації пристроїв та їх комплексів, питання пошуку несправностей за допомогою автоматизованих систем із кожним днем стає все більш актуальним. Пристрої та їх комплекси стають більш складними та потребують більш глибокої деталізації при пошуку несправностей. Саме тому це питання звернуло увагу на себе багатьох науковців. Так, наприклад, С. В. Нікітенко неодноразово звертав увагу на вивчення проблем автоматизованого пошуку несправностей в електронних приладах [1; 2].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка науково обґрунтованої методології технічної діагностики елементів системи керування БпАК.

**Постановка завдання.** Розробка методу діагностування компонентів СК БпАК на базі узагальненої математичної моделі програмно-апаратного пристрою діагностики.

**Виклад основного матеріалу.** Для проведення технічної діагностики компонентів системи керування БпАК пропонується метод, що розглядає кожен елемент СК БпАК у вигляді орієнтованого графа причинно-наслідкових зв'язків. Розроблено алгоритм програмного компонента діагностичної системи СК БпАК.

**Висновки відповідно до статті.** Сформульовано та надано математичний опис методу технічної діагностики елементів СК БпАК. Наведено алгоритм програмного компонента діагностичної системи СК БпАК.

**Ключові слова:** безпілотні літальні апарати; безпілотні авіаційні комплекси; система керування БпАК; надійність; діагностування.

Рис.: 5. Бібл.: 7.

**Актуальність теми дослідження.** Перспективним напрямком розвитку програмно-апаратних засобів технічного діагностування є використання в їх складі інтелектуальних компонентів. Відомі засоби технічного діагностування орієнтовані на вирішення окремих вузькоспеціалізованих діагностичних задач і не забезпечують достатнього рівня універсальності, тому проблема підвищення ефективності діагностування за рахунок розробки та вдосконалення інтелектуальних засобів є актуальною й потребує подальших досліджень. Також актуальним є дослідження впливу різних факторів на роботу компонентів системи керування безпілотного авіаційного комплексу.

**Постановка проблеми.** Сучасні системи керування безпілотним авіаційним комплексом (СК БпАК) є складними комплексами, в яких відбувається тісна взаємодія електромеханічної, енергетичної та програмно-апаратної підсистем. Ці підсистеми постійно вдосконалюються, розвиваються та модернізуються. Використання БпАК у провідних високотехнологічних сферах, таких як військова справа, геологія тощо, вимагає забезпечення високого рівня надійності функціонування СК БпАК та її компонентів. Одним із засобів підвищення надійності роботи є розроблення і впровадження ефективних програмно-апаратних засобів діагностування компонентів, що безпосередньо входять до складу підсистем СК БпАК.

Особлива увага приділяється надійності функціонування СК БпАК. Для забезпечення виконання задач, що виконується системою керування БпАК необхідно постійно проводити моніторинг стану та функціональної здатності компонентів СК БпАК. Такий процес будемо називати діагностуванням.

Велика кількість методів діагностики, відсутність або висока вартість діагностичних програм та апаратних засобів діагностування, відсутність технічної документації до

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

комплексу значно ускладнюють діагностування компонентів СК БпАК. Наприклад, технічне обслуговування сучасних технічних систем становить близько 50 % від їх вартості. За цих умов проблема розробки методів та засобів, що забезпечують користувача інформацією про поточний стан та має можливість прогнозувати зміни у стані компонентів СК, має велике значення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Основним завданням технічного діагностування є забезпечення функціональної надійності й ефективності роботи СК БпАК, а також скорочення витрат на її технічне обслуговування та зменшення втрат у результаті відмов і передчасних виводів у ремонт її компонентів.

Діагностування СК БпАК складається з таких етапів:

- оцінка технічного стану кожної компоненти СК БпАК;
- виявлення і локалізація несправностей;
- прогнозування залишкового ресурсу компонентів СК БпАК;
- моніторинг технічного стану СК.

Для оцінки стану кожного компонента [3] вводимо перелік параметрів, які, зазвичай, називають діагностичними. Під діагностичними параметрами розуміють репрезентативні параметри, з яких визначають стан компонентів системи керування. Розрізняють прямі й непрямі діагностичні параметри. Перші безпосередньо характеризують стан об'єкта, а другі пов'язані з прямими параметрами функціональною залежністю.

Під час функціональної діагностики СК БпАК, у процесі його роботи, поряд з окремо розглянутими параметрами можуть використовуватися також функціональні зв'язки (функціональні залежності) параметрів, як ознака стану [4].

У статті [5] представлено огляд загального методу технічної діагностики. Автор розглядає фізику відмови й описує принципи і методи оцінювання та експертизи, у тому числі відмови структурного моніторингу стану справності та неруйнівного контролю. Аналізується роль метрологічних параметрів як показників технічної діагностики і формулюється методологія для моніторингу функціональних характеристик і структурної цілісності технічних об'єктів.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що програмно-апаратний засіб діагностування СК БпАК повинен вирішити такі взаємопов'язані завдання [6]:

- розроблення математичної моделі функціонування СК БпАК, що дозволяє перевіряти працездатність і правильність функціонування за сукупністю діагностичних параметрів;
- створення математичної моделі пошкоджень і відмов для виявлення причин їх виникнення;
- побудова алгоритму діагностування [1].

Для вирішення перелічених вище завдань застосовують різні математичні методи. Так, при створенні моделей для перевірки працездатності та правильності функціонування використовують системи лінійних та нелінійних рівнянь [7]. Для створення моделей дефектів і відмов використовують топологічні моделі у вигляді дерев відмов і графів причинно-наслідкових зв'язків між технічними станами і діагностичними параметрами [1]. Основою для побудови алгоритмів діагностування є моделі об'єктів діагностування. З автоматичним діагностуванням пов'язана задача прогнозування технічного ресурсу об'єкта. Алгоритм діагностування є основою для створення системи технічної автоматизованої діагностики СК БпАК.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Розробка науково обгрунтованої методології технічної діагностики елементів системи керування БпАК.

**Постановка завдання (формулювання цілей статті).** Мета статті полягає в розробленні методу діагностування компонентів СК БпАК на базі узагальненої математичної моделі програмно-апаратного пристрою діагностики та опису програмної компоненти діагностичного комплексу СК БпАК.

**Виклад основного матеріалу.****Метод діагностики елементів СК БпАК**

Типова структура програмно-апаратного засобу технічного діагностування в найпростішому варіанті включає діагностичні датчики (сигналізатори), що передають діагностичну інформацію від об'єкта, та перетворювачі, які перетворюють сигнали від датчиків (сигналізаторів) в уніфікований вид, що зручніше використовувати для обробки, та передачі на пристрої та виведення інформації.

Поділяються системи діагностування на групи за такими рисами:

- за ступенем загальності інформації, що видається – на локальну й загальну;
- за характером взаємодії з об'єктом – на тестову і функціональну.

Локальне діагностування використовують для оцінки стану вузлів і деталей, а загальне діагностування – взагалі всього об'єкта. Система тестування формує сигнал, що подається на об'єкт, для перевірки та отримання від нього інформації у відповідь. Функціональна система фіксує інформацію про стан об'єкта перевірки в процесі його роботи. Системи діагностування призначаються для вирішення таких завдань: перевірка справності, працездатності й функціонування об'єктів та пошуку дефектів [3].

Системи діагностування є дуже важливою складовою в СК БпАК, тому детально розглянемо узагальнену схему програмно-апаратного пристрою для діагностики СК БпАК, яка представлена на рис. 1.

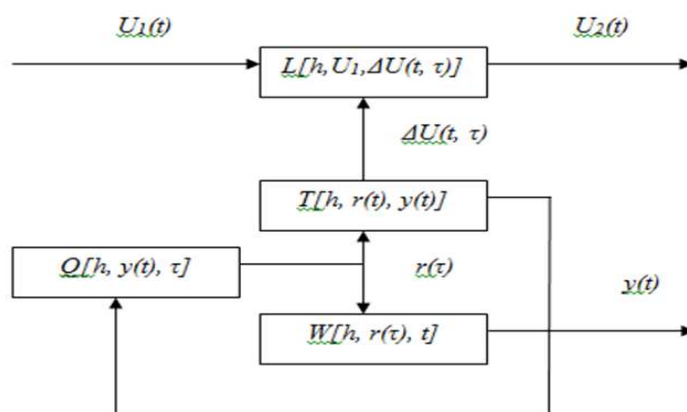


Рис. 1. Структурна схема програмно-апаратного пристрою діагностики

Основні властивості вузла, що досліджується, характеризуються оператором  $L$ , який пов'язує вхідні і вихідні впливи  $U_1(t)$  і  $U_2(t)$ , де  $t$  – час, а також враховує залежність  $U_2(t)$  від збудуючого фактора  $\Delta U(t, \tau)$ , де  $\tau$  – тривалість дії збудуючого фактора, породженого власними внутрішніми процесами. Якість функціонування об'єкта залежить не тільки від конструктивних параметрів  $h$ , а й від збурень  $\Delta U(t, \tau)$ , які змінюються в часі й можуть викликати параметричну відмову системи. Зміну технічного стану можна контролювати за зміною власних коливань  $y(t)$ , що породжуються внутрішніми процесами. Основним параметром, що зв'язує  $\Delta U(t, \tau)$  і  $y(t)$  у цій моделі, є вектор  $r(t)$ . Вектор  $r(t)$  визначається дефектами вузла. Зв'язок  $\Delta U(t, \tau)$  з  $r(t)$  і  $y(t)$  встановлюється оператором  $T$ , а зв'язок  $y(t)$  з  $r(t)$  – оператором  $W$  [8].

Параметр  $r(t)$  в умовах тривалого функціонування системи змінюється не тільки внаслідок процесів старіння, а й під дією інших факторів (наприклад, вібрації). Ці зміни за часом значно повільніші в порівнянні з флуктуацією основних експлуатаційних показників. Зв'язок між змінами  $r(t)$  і вібрацією  $y(t)$  встановлюється за допомогою оператора  $Q$ . У моделі є два види характерних процесів: швидкі (час  $t$ ) – флуктуація експлуатаційних показників і повільні (час  $\tau$ ) – зміна параметрів  $r(t)$  (дефектів та інших характеристик). Швидкі процеси визначають якість функціонування в цей момент часу, а повільні – параметричну надійність системи [7].



TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Елемент СК БпАК представляється у вигляді орієнтованого графа причинно-наслідкових зв'язків  $FE_i(W_i^{FE}, Q_i^{FE})$ , де  $W_i^{FE}$  – множина вершин графа  $FE_i$ , а  $Q_i^{FE}$  – відображення  $W_i^{FE}$  в  $W_i^{FE}$ . Вершиною графа є функціональний елемент, який є складовою головного пристрою, що здатний виконувати логічно завершену задачу. Для функціонального елемента граф причинно-наслідкових зв'язків фіксує різницю між вхідними та вихідними сигналами функціонального елемента. У зв'язку з цим «причина» – сигнал на вході функціонального елемента, а «наслідок» – різниця при впливі на формування сигналу при виході. Будь-який причинно-наслідковий зв'язок у функціональному елементі реалізується у вигляді електричних з'єднань, але приймаються у вигляді «каналів» поширення сигналу (орієнтованих зв'язків, що мають напрямом). Множина вершин графа  $i$ -го функціонального елемента визначається, як  $W_i^{FE} = \{X_i, Y_i\}$ , де  $X_i = \{x_1^i, x_2^i, \dots, x_n^i\}$  – сукупність входів  $FE_i$ ,  $Y_i = \{y_1^i, y_2^i, \dots, y_m^i\}$  – сукупність виходів  $FE_i$  [2].

Матриця впливу  $A_i$  входів функціонального елемента на його сигнали виходу буде мати такий вигляд (1):

$$A_i = \begin{matrix} & & y_1^i & \dots & y_m^i \\ & x_1^i & \left( \begin{matrix} a_1^1 & \dots & a_1^m \\ \dots & \dots & \dots \\ x_n^i & \left( \begin{matrix} a_n^1 & \dots & a_n^m \end{matrix} \right) \end{matrix} \right. & & & \end{matrix} \end{matrix} \quad (1)$$

Матриця заповнюється таким чином (2):

$$a_t^j = \begin{cases} 1, \text{ якщо сигнал входу } x_t^j \text{ впливає на формування виходу } y_j^i; \\ 0, \text{ якщо сигнал входу } x_t^j \text{ не впливає на формування виходу } y_j^i. \end{cases} \quad (2)$$

Об'єкт дослідження, що складається з  $n$  функціональних елементів, задається у вигляді  $DU(W^{DU}, Q^{DU})$ , де  $W^{DU}$  – множина вершин графа несправного пристрою;  $Q^{DU}$  – відображення  $W^{DU}$  в  $W^{DU}$ . Множина вершин графа визначається як  $W^{DU} = \{X_0, W^{FE}, Y_0\}$ , де  $X_0 = \{x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0\}$  – сукупність входів пристрою;  $W^{FE} = \{W_1^{FE}, W_2^{FE}, \dots, W_N^{FE}\}$  – сукупність вершин функціональних елементів, з яких складається об'єкт діагностики;  $Y_0 = \{y_1^0, y_2^0, \dots, y_p^0\}$  – сукупність виходів.

На основі цього визначаємо вигляд матриці логічних зв'язків несправного об'єкта діагностики як квадратну матрицю суміжності  $B$ , що будується з підматриць (3):

$$B = \begin{matrix} & & X_0 & W_1^{FE} & W_2^{FE} & \dots & W_N^{FE} & Y_0 \\ & X_0 & \left( \begin{matrix} 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_1^{FE} & \dots & C_1 & \dots & \dots & \dots \\ W_2^{FE} & \dots & \dots & C_2 & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ W_N^{FE} & \dots & \dots & \dots & \dots & C_N \\ Y_0 & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{matrix} \right) & & & \end{matrix} \quad (3)$$

На головній діагоналі розташовані матриці суміжностей функціональних елементів  $(C_1, \dots, C_N)$ , за винятком нульових матриць впливу входу і виходу несправного об'єкта діагностики один на одного. На місці  $A$  розташовані підматриці впливу відповідно входів і виходів об'єкта дослідження і функціональних елементів на самих себе.

Вважаємо, що зв'язки між різними функціональними елементами є завжди в справному стані. Якщо необхідно перевірити зв'язки між функціональними елементами на вихід з ладу, їх необхідно задати як окремі функціональні блоки.

Вагою вершини  $s \in W^{DU}$  по виходу  $k \in Y_0$  будемо вважати число  $V$ , яке буде характеризувати значущість перевірки вершини  $s$  у разі неправильного сигналу на виході  $k$ .

Оцінкою  $O_s^k$  вершини  $s \in W^{DU}$  по виходу  $k \in Y_0$   $k \in Y_0$  є булева змінна, що відповідає умовам, представленим нижче (4):

$$O_s^k = \begin{cases} 1, & \text{якщо вершина } s \text{ є вершиною, що призводить до нормальної роботи на виході } k \\ 0, & \text{якщо вершина } s \text{ є вершиною, що призводить до несправності на виході } k. \end{cases} \quad (4)$$

Функція  $F_s$  за умови необхідності перевірки вершини  $s$ -го елементу  $FE_i$  являє собою диз'юнкцію логічних оцінок по виходу функціональних елементів виходу несправного пристрою  $O_s^{l^*}, \dots, O_s^{l^{**}}$ , за яким спостерігається відмова або некоректність сигналу, і всіх виходів об'єкта діагностики з оцінками  $O_s^{k^*}, \dots, O_s^{k^{**}}$ , в яких вихідні значення лежить у межах допуску (5):

$$F_s = (O_s^{l^*} + \dots + O_s^{l^{**}}) + (O_s^{k^*} + \dots + O_s^{k^{**}}). \quad (5)$$

Усі виходи об'єкта діагностики мають бути доступні для дослідження та замірів. Тоді, описуючи таким чином модель об'єкта діагностики, можливо визначити порядок перевірки елементів на несправність[2].

#### Алгоритм програмного компонента діагностичної системи СК БпАК.

Спробуємо розглянути алгоритм визначення значущості перевірки функціональних складових при несправності на одному із виходів (рис. 2).

Нехай  $M$  буде допоміжною змінною, яка служить для накопичення значень перевірки вершин та зростає при виконанні алгоритму.

Усі вершини, в результаті функціонування алгоритму, мають певну вагу, що відповідає задачам перевірки. Після цього присвоюємо логічним оцінкам  $O_s^k$ , для яких  $V_s^k > 0$ , логічний «0», що є показником можливого існування несправності у відповідній вершині. Так само проводимо перевірку для виходів, які мають значення в межах норми, присвоївши логічну «1», що є показником справності відповідного виходу.

Блок-схема на рис. 3 являє собою алгоритм роботи етапу корегування ваги після їх оцінки базовим методом.

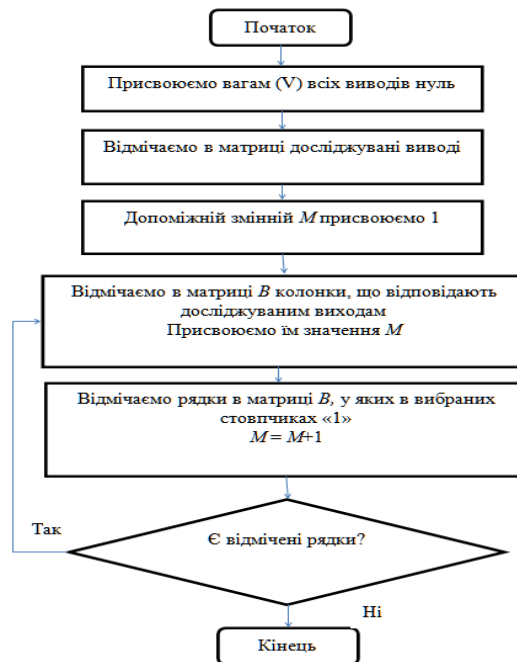


Рис. 2. Алгоритм зважування виводів функціональних елементів

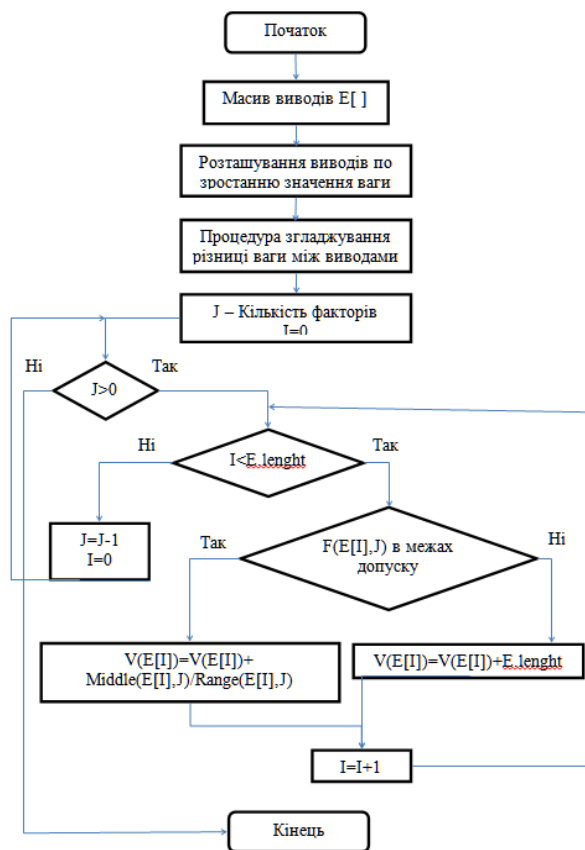


Рис. 3. Блок-схема етапу корегування ваги

Обчислюємо значення функції  $F_s$  для всіх виходів та визначаємо необхідність дослідження того чи іншого виходу. Якщо значення  $F_s = 0$ , то вихід потребує перевірки. Якщо  $F_s = 1$ , то при складанні сигналу хоча б одного із виходів об'єкта діагностування, вихід видає стандартний відклик і не потребує перевірки. Це надає змогу зменшити сукупність функціональних блоків, які необхідно перевірити. [2]

Після визначення виводів, що потребують перевірку, та їхньої ваги починається наступний етап корегування ваг.

Після базового зважування необхідно переконатись у впорядкуванні ваги по порядку, тому що вони приходять у випадковому порядку.

На рис. 4 наведено приклад розташування виводів згідно з вагою, отриманою від базового алгоритму. Значення ваги має досить велику різницю, тому що це частина виводів, які підлягають перевірці. Слід зауважити, що процес зважування проходять усі виходи в електронному пристрої, які хоч якось можуть вплинути на роботу виходу.

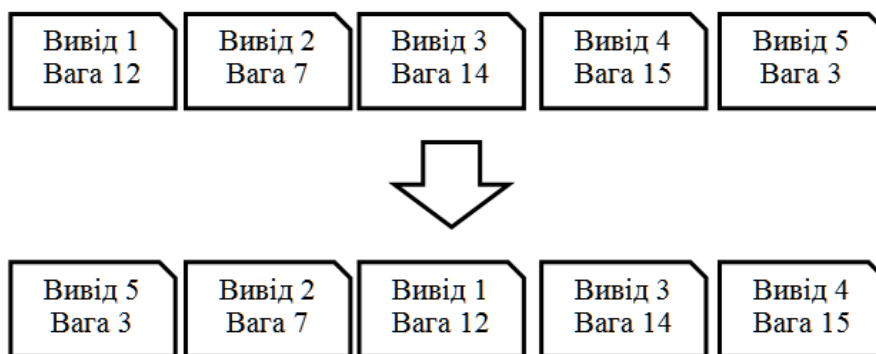


Рис. 4. Приклад перестановки виводів

Далі необхідно провести згладжування значень ваги. Завданням цього етапу є зменшення різниці ваги виводів (рис. 5). Виводу з найменшою вагою присвоюємо значення рівне одиниці, наступному за ним – двійки і так далі, на кожному кроці збільшуючи значення ваги на один доти, доки не будуть перебрані всі виводи. У результаті цієї процедури ми зберігаємо логічну відповідність між вагами виводів і зменшуємо різницю, що може нам заважати на наступному етапі алгоритму [2].

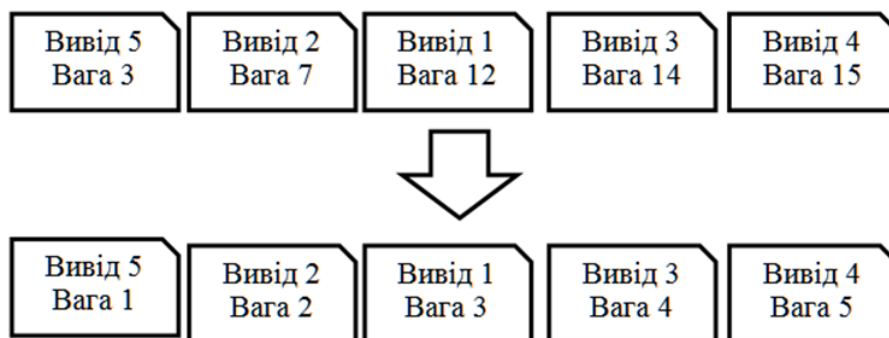


Рис. 5. Приклад процедури згладжування значень ваг

Масив **E** – це всі виводи, що необхідно перевірити, які визначені базовим алгоритмом. Змінна **J** – це кількість зовнішніх факторів, за якими проводиться корегування ваги.

Кількість зовнішніх факторів має бути як мінімум один, або більше. Порядок нумерації зовнішніх факторів не має значення і може бути змінений без наслідків.

Змінна **I** слугує в ролі лічильника для послідовного перебору елементів масиву.

Функція **F(E[I], J)** повертає булеве значення, що показує, чи має фактор **J** значення в межах допуску для досліджуваного виводу **E[I]**. Під межами допуску слід розуміти мінімальну та максимальну межу значення конкретного фактора для обраного виводу [2].

У результаті роботи алгоритму отримуємо набір виводів зі скоректованим значенням ваги, які необхідно перевіряти в разі появи несправності на конкретному виході елемента СК БпАК, що діагностується.

**Висновки відповідно до статті.** Сформульовано та надано математичний опис методу технічної діагностики елементів СК БпАК. Доведено, що діагностика елементів СК БпАК, структура яких може бути відображена на орієнтований граф, можлива з використанням запропонованого методу.

Наведено алгоритм програмного компоненту діагностичної системи СК БпАК, реалізація якого дозволить виконати діагностування обладнання, моніторинг параметрів та характеристик стану СК БпАК у процесі її функціонування.

#### Список використаних джерел

1. Нікітенко Є. В. Автоматизована система діагностики комплексу електронно-променевого зварювання / Є. В. Нікітенко // Вісник Національного авіаційного університету. – 2013. – № 2 (55). – С. 157–162.
2. Нікітенко Є. В. Метод пошуку несправностей в складних електронних приладах з урахуванням зовнішніх факторів / Є. В. Нікітенко // Математичні машини і системи. – 2014. – № 1. – С. 70–79.
3. Енциклопедія сучасної України : в 25 т. / гол. редкол. І. М. Дзюба та ін. – К., 2005. – Т. 4. – 699 с.
4. Czichos H. Technical Diagnostics: Principles, Methods, and Applications / H. Czichos // NCSLI Measure: The Journal of Measurement Science. – 2014. – Vol. 9. – Issue 2. – Pp. 32-40. DOI: <https://doi.org/10.1080/19315775.2014.11721681>.
5. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения: монография : [в 4 т.]. Т. 4. Методология исследования сложных систем военного назначения / С. В. Лапицкий, А. В. Кучинский, А. И. Сбитнев [и др.] ; ред.: С.В. Лапицкий. – К., 2013. – 477 с.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

6. Covert Drone War: The Bureau of Investigative Journalism [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.thebureauinvestigates.com/category/projects/drones>.

7. Алгоритмы: построение и анализ / Т. Х. Кормен, Ч. И. Лейзерсон, Р. Л. Ривест, К. Штайн. – 3-е издание. – М. : Вильямс, 2013. – 1328 с.

## References

1. Nikitenko, Ye. V. (2013). Avtomatyzovana systema diahnostryky kompleksu elektronno-promenevoho zvariuvannia [Electron beam welding complex diagnostics automated system]. *Visnyk Natsionalnoho aviatsiinoho universytetu – Proceedings of the National Aviation University*, 2(55), 157–162 [in Ukrainian].

2. Nikitenko, Ye. V. (2014). Metod poshuku nespravnosti v skladnykh elektronnykh pryladakh z urakhuvanniam zovnishnykh faktoriv [Searching method of failure in high-end technology taking into account external factors]. *Matematychni mashyny i systemy – Mathematical machines and systems*, 1, 70–79 [in Ukrainian].

3. Dziuba, Y. M. (Eds.). *Entsyklopediia suchasnoi Ukrainy [Encyclopedia of modern Ukraine]* (2005). Kyiv [in Ukrainian].

4. Czichos, H. (2014). Technical Diagnostics: Principles, Methods, and Applications. *NCSLI Measure: The Journal of Measurement Science*, 9 (2). DOI: <https://doi.org/10.1080/19315775.2014.11721681> [in English].

5. Lapitckii, S. V. (2013). Osnovy voenno-tekhnicheskikh issledovaniy. Teoriia i prilozheniia [Fundamentals of military-technical research. Theory and applications]. *Metodologiiia issledovaniia slozhnykh sistem voennogo naznacheniia – Methodology for the study of complex military systems* (Vols. 4). Moscow: KNAU [in Russian].

6. Covert Drone War: The Bureau of Investigative Journalism. *thebureauinvestigates*. Retrieved <http://www.thebureauinvestigates.com/category/projects/drones> [in English].

7. Kormen, T. Kh., Leizeron, Ch. I., Rivest, R. L. & Shtain, K. (2013). *Algoritmy: postroenie i analiz [Algorithms: construction and analysis]*. Moscow: Viliams [in Russian].

UDC 004.9

*Olha Bashynska, Yuri Kamak, Sergii Nesterenko*

## METHOD OF DIAGNOSTICS OF THE CONTROL SYSTEM COMPONENTS BY UNAVAILABLE AVIATION COMPLEX

**Urgency of the research.** A promising direction in the development of software and hardware technical diagnostics is the use of intellectual components in their composition. The known means of technical diagnostics are oriented towards the solution of individual highly specialized diagnostic problems and do not provide a sufficient level of universality, therefore the problem of improving the efficiency of diagnostics due to the development and improvement of intellectual means is quite urgent and requires further research. Also relevant is the study of the effect of various factors on the operation of components of the unmanned aviation complex (UAC) control systems.

**Target setting.** Modern control systems of an unmanned aviation complex are complicated complexes in which there is a close interaction of different types of subsystems. The use of UAC in high-tech areas requires the provision of a high level of reliability of the operation of UAC control system and its components. One of the means of increasing the reliability of work is the development and implementation of effective software and hardware diagnostic tools.

**Actual scientific researches and issues analysis.** To date, in the global automation of devices and their complexes, the problem of troubleshooting through automated systems is becoming increasingly relevant day by day. Devices and their complexes become more complex and require more detailed troubleshooting when troubleshooting. That is why this issue has drawn attention to many scholars. For example, E. V. Nikitenko, not once draws attention to the study of automated troubleshooting problems in electronic devices [1; 2].

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Development of a method for diagnosing components of the UAC control system on the basis of a generalized mathematical model of a diagnostic device.

**The research objective.** The main article target is to build of the generalized mathematical model of the hardware-software diagnostic device and description of the software component for the diagnostic complex of the of the UAC control system.

**The statement of basic materials.** For the technical diagnostics of the components of the control system of the UAC, a method is proposed that considers each element of the UAC control system in the form of an oriented graph of cause-effect relationships. Developed the algorithm of the software component of the diagnostic system of UAC control system.

**Conclusions.** A mathematical description of the diagnostic method for the elements of the UAC control system is given. Developed the algorithm of the software component for the diagnostic system of UAC control system.

**Keywords:** unmanned aviation vehicles; unmanned aviation systems; UAC control system; reliability; diagnostics.

Fig.: 5. Bibl.: 7.

УДК 004.9

Ольга Башинская, Юрий Камак, Сергей Нестеренко

**МЕТОД ДИАГНОСТИКИ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНЫМ АВИАЦИОННЫМ КОМПЛЕКСОМ**

**Актуальность темы исследования.** Перспективным направлением развития программно-аппаратных средств технической диагностики является использование в их составе интеллектуальных компонентов. Известные средства технической диагностики ориентированы на решение отдельных узкоспециализированных диагностических задач и не обеспечивают достаточного уровня универсальности, поэтому проблема повышения эффективности диагностики за счет разработки и усовершенствования интеллектуальных средств достаточно актуальна и требует дальнейших исследований. Также актуальным является исследование влияния разных факторов на работу компонентов системы управления беспилотным авиационным комплексом.

**Постановка проблемы.** Современные системы управления беспилотным авиационным комплексом являются сложными комплексами, в которых происходит тесное взаимодействие подсистем разных типов. Использование БПАК в высокотехнологичных сферах требует обеспечения высокого уровня надежности функционирования СК БПАК и ее компонентов. Одним из средств повышения надежности работы является разработка и внедрение эффективных программно-аппаратных средств диагностирования.

**Анализ последних исследований и публикаций.** На сегодняшний день в условиях глобальной автоматизации устройств и их комплексов, вопросы поиска неисправностей с помощью автоматизированных систем с каждым днем становятся все более актуальными. Устройства и их комплексы становятся более сложными и требуют более глубокой детализации при поиске неисправностей. Именно поэтому этот вопрос обратил внимание множества ученых. Так, например, Е. В. Никитенко не раз обращал внимание на изучение проблем автоматизированного поиска неисправностей в электронных приборах [1; 2].

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Разработка научно обоснованной методологии технической диагностики элементов системы управления БПАК.

**Постановка задачи.** Разработка метода диагностирования компонентов СК БПАК на базе обобщенной математической модели программно-аппаратного устройства диагностики.

**Изложение основного материала.** Для проведения технической диагностики компонентов системы управления БПАК предлагается метод, который рассматривает каждый элемент СК БПАК в виде ориентированного графа причинно-следственных связей. Разработан алгоритм программного компонента диагностической системы СК БПАК.

**Выводы по статье.** Приведено математическое описание метода диагностики элементов СК БПАК. Разработан алгоритм программного компонента диагностической системы СК БПАК.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты; беспилотные авиационные комплексы; система управления БПАК; надежность; диагностика.

Рис.: 5. Библ.: 7.

**Башиньська Ольга Олександрівна** – аспірант кафедри інформаційних та комп’ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Башинская Ольга Александровна** – аспірант кафедри інформаційних та комп’ютерних систем, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, г. Чернігів, 14035, Україна).

**Bashynska Olga** – PhD student of the Information and Computer Systems Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**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. Шевченка, 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 Shevchenko Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

*Сергій Медушевський*

## РОЗРОБКА УНІФІКОВАНОЇ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РИЗИКІВ У ПРОЦЕСІ ВАЛІДАЦІЇ АВТОМАТИЗОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

**Актуальність теми дослідження.** Інтенсивність впровадження інформаційних систем у виробничі процеси та зростання складності конфігурації таких систем безпосередньо пов'язано з певною сукупністю ризиків, основною причиною яких є уразливість інформаційних технологій і систем. Коли ризик стає неприйнятно великим, необхідно застосовувати відповідні обґрунтовані заходи для своєчасного виявлення причин і зниження рівня ризику або ж повної ліквідації ризику.

**Постановка проблеми.** Відсутність єдиної уніфікованої методики оцінювання ризиків ставить під загрозу не тільки проект впровадження і валідації системи, а і якість продукції, цілісність даних і безпеку для кінцевого споживача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками дослідження зазначеної проблеми проводилося в багатьох наукових вітчизняних і закордонних працях, в яких було запропоновано та апробовано різні варіації методик та підходів до оцінювання ризиків при розробці та експлуатації інформаційних систем відповідного рівня складності.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Усі сучасні системи аналізу та управління ризиками, як вітчизняні, так і зарубіжні, спираються у своїй роботі на досить суб'єктивні думки експертів, або ж допускають застосування спеціальних опитувальників, на питання яких часто змушені відповідати некомпетентні особи. Сучасні методики оцінювання ризиків не дозволяють у повному обсязі виявити і належним чином оцінити можливі ризики під час проектування, розроблення, впровадження та експлуатації АІС на фармацевтичному виробництві.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка методики управління ризиками проектів, пов'язаних із розробкою, впровадженням валідацією і подальшим супроводом автоматизованих інформаційних систем для фармацевтичних виробництв.

**Виклад основного матеріалу.** У статті представлена покрокова методика управління ризиками в процесі валідації автоматизованих інформаційних систем, запропонована схема розподілу ключових ролей і обов'язків членів групи оцінки ризиків. Розглянуто класифікацію рівнів тяжкості, ймовірності виникнення і ймовірності виявлення в розрізі кількісної та якісної шкали оцінювання. Запропоновано принцип інтерпретації результатів оцінки ризиків.

**Висновки відповідно до статті.** Підсумковим результатом стало створення уніфікованої науково обґрунтованої методики управління ризиками в проектах зі створення автоматизованих інформаційних систем, що дозволяє підвищити ефективність впровадження та експлуатації АІС, унаслідок чого успішне проходження процесу валідації.

**Ключові слова:** автоматизація; валідація; верифікація; інформаційна система; проектування; управління ризиками; якість.

Табл.: 3. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Одним з основних завдань системи управління якістю (СУЯ) є забезпечення виявлення потенційних невідповідностей (дефектів) і перешкоджання їх появи на всіх стадіях життєвого циклу автоматизованої інформаційної системи (АІС). Згідно з новою версією стандарту ISO 9001: 2015 актуальним є розвиток інформаційного ризик-менеджменту і ризик-орієнтованого мислення, основне завдання якого полягає в управлінні ризиками.

Проблема дослідження ризиків у процесах розроблення програмного забезпечення ускладнюється внаслідок зростання різноманітності та складності розроблюваних програмних продуктів [1]. Розробка уніфікованих моделей управління ризиками у сфері автоматизації фармацевтичних виробництв, а зокрема в процесі валідації таких систем є нині важливим і недостатньо вивченим завданням, що вказує на актуальність проведення дослідження з цієї теми.

**Постановка проблеми.** Процес розроблення і впровадження проектів у сфері фармацевтичного виробництва, заснованих на інформаційних технологіях, є дуже складним завданням, вирішення якого вимагає особливого підходу [2].

Згідно зі статистичними даними, проекти, пов'язані з впровадженням інформаційних технологій і автоматизованих систем, є найбільш ризикованими з погляду їх реалізації відповідно до початкових планів, якості продукції, цілісності даних і безпеки загалом. Виходячи із цього розробка уніфікованої науковообґрунтованої методики управління ризиками в проектах розробки та затвердження автоматизованих систем (АІС) є актуальним і важливим завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У роботах [3; 4] розглянуто методику виконання оцінювання ризиків за допомогою методу FMEA-аналізу, розглянуто критерії визначення основних параметрів для визначення оцінки ризику, а також запропонована методика аналізу надійності інформаційно-керуючої системи.

Авторам роботи [5] показана можливість застосування FMEA під час аналізу видів та наслідків невідповідностей конструкторської документації (КД), інтерпретовані основи класичного FMEA з урахуванням специфіки розробки КД з метою управління якістю КД. У статті [6] описано етапи попереднього дослідження об'єкта у процесі проведення аналізу видів, наслідків та причин потенційних дефектів (FMEA). Пропонуються способи і даються рекомендації з проведення структурного і функціонального аналізу об'єкта. Дослідження особливості управління якістю проектів у сфері інформаційних технологій проведено автором роботи [7].

Основні методики ідентифікації небезпеки та особливості застосування методів аналізу й оцінювання ідентифікованих ризиків розглянуто в роботах [8; 9].

Проблеми реалізації ризик-орієнтованого мислення в межах системи менеджменту якості промислового підприємства відображені в роботі [10] і запропонований метод їх подолання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Усі сучасні системи аналізу та управління ризиками, як вітчизняні, так і зарубіжні, спираються у своїй роботі на досить суб'єктивні думки експертів, або ж допускають застосування спеціальних опитувальників, на питання яких часто змушені відповідати некомпетентні особи. При розробці складних інформаційних систем, що задіюють велику кількість ресурсів, якість програмного коду має великий вплив на якість проектованої системи на всіх етапах життєвого циклу [11], відповідно це призводить до появи певних небезпек (ризиків), які можуть перейти в серйозні відхилення або невідповідності. Сучасні методики оцінювання ризиків не дозволяють у повному обсязі виявити й належним чином оцінити можливі ризики під час проектування, розроблення, впровадження та експлуатації АІС на фармацевтичному виробництві.

Розробка комплексної та уніфікованої методики аналізу та оцінювання ризиків, яка дозволить зробити кількісне і якісне оцінювання ризиків (оцінити ймовірність успішної реалізації вимог користувачів) для АІС, а також проведення верифікації виявлених вразливостей з урахуванням привласнених оцінок і формування рекомендацій щодо зменшення та ліквідації ризиків у процесі валідації АІС є важливим завданням, що вимагає комплексного підходу.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розроблення науково обґрунтованої методики управління ризиками проектів, пов'язаних з розробкою, впровадженням валідацією і подальшим супроводом автоматизованих інформаційних систем для фармацевтичних виробництв.

**Виклад основного матеріалу.** Одним із найважливіших етапів процесу управління ризиками в проектах з автоматизації тих чи інших сфер бізнесу є розробка концепції управління цими ризиками. Як окрема ланка в системі управління ризиками в проектах з автоматизації підприємств/виробництв визначаються ризики та створюється детальний опис загроз і ризиків, які можуть загрожувати успішній реалізації проекту.

У процесі валідації АІС спочатку необхідно виділити 2 категорії ризиків:

- апаратні ризики – ризики, пов'язані з використанням нового апаратного забезпечення або доопрацюванням вже існуючого для підвищення продуктивності або досягнення принципово нової функціональності;
- програмні ризики – ризики, пов'язані з придбанням або використанням складного програмного забезпечення або систем розроблених за індивідуальним замовленням.

Особливу важливість для успішної реалізації проекту після оцінки ризиків відіграє визначення заходів, спрямованих на зниження ймовірності реалізації ризиків або зменшення негативного ефекту від їх реалізації.

Методика управління ризиками в проектах зі створення, впровадження та експлуатації АІС повинна увібрати в себе всі сильні сторони наявних методик і адаптувати їх



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

під сучасні реалії з тим, щоб її ефективність відповідала сучасним потребам господарюючих суб'єктів. Управління ризиками – це повторюваний процес, який застосовується протягом усього життєвого циклу АІС від ідеї/проекту до вилючення з експлуатації.

Загалом головним завданням оцінювання ефективності тієї чи іншої методики управління ризиками є виявлення необхідності, доцільності й ефективності комплексу заходів, спрямованих на оптимальну реалізацію проекту зі створення автоматизованої системи.

Поняття ефективності методики управління ризиками інформаційних проектів нерозривно пов'язане з поняттям ефективності валідації інформаційного проекту.

Першим кроком методики є визначення політики управління ризиками, призначення відповідальних осіб, розподіл ключових ролей і обов'язків (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл ключових ролей та обов'язків

Відповідальний персонал	Обов'язки
Власник процесу/власник системи	Організація учасників групи оцінки ризиків
	Участь в оцінюванні ризиків
	Узгодження документації
Експерти в предметній галузі/ключові користувачі	Ідентифікація, аналіз і оцінювання ризиків для безпеки пацієнтів, якості продукції та цілісності даних
	Розробка заходів щодо зниження ризиків та інструментів контролю
Департамент якості	Ідентифікація, аналіз та оцінювання ризиків, пов'язаних з дотриманням нормативних вимог, стандартів якості та підтримкою політики компанії у сфері якості
	Участь в оцінюванні ризиків
	Затвердження документації
Постачальник	Надання інформацію про АІС
	Надання консультації з питань управління
	Участь в оцінюванні ризиків

Наступним кроком є ідентифікація ризиків, яка необхідна для створення повного переліку потенційних ризиків проекту АІС.

Найбільш часто ризик визначають як добуток збитку від реалізації загрози інформаційній безпеці та ймовірності її реалізації. Математично можна також визначити узагальнений показник ризику  $R_{total}$ , який являє собою суму індивідуальних ризиків  $R_i$ , які обчислюються як добуток потенційного збитку від реалізації погрози  $L_i$  і ймовірності її реалізації  $p(L_i)$ .

$$R_i = L_i p(L_i);$$

$$R_{total} = \sum R_i.$$

Для отримання значень  $L_i$  і  $p(L_i)$  можуть бути використані статистичні та експертні дані, а також кошти математичного моделювання.

Наступним елементом методики є безпосередній аналіз ідентифікованих ризиків. Реалізація цього етапу переслідує дві мети. По-перше, це детальне обговорення, оцінка та опис ризиків, отриманих на попередньому етапі ідентифікації ризиків.

По-друге, на етапі аналізу ризиків здійснюється ранжування ризиків з тим, щоб виділити найбільш критичні ризики. Ранжування ризиків будується на системі оцінки ймовірностей їх реалізації і на шкоду, яку може бути заподіяно проекту в результаті реалізації.

Під час аналізу ризиків керівництво GMP EU «ICH guideline Q9 on quality risk management» рекомендує використовувати метод аналіз характеру наслідків відмов (Failure Mode Effects Analysis). Метод дає змогу вивчати ступінь тяжкості наслідків відносно ймовірності виникнення відхилень. За допомогою FMEA можна виявити моменти, які є найбільш потенційно небезпечними та розробити відповідні дії для вибору дій з обробки ризику, що дозволить знизити ризик до прийняттого рівня.

Кожна небезпечна ситуація класифікується за трьома критеріями: тяжкість наслідків; ймовірність виникнення; ймовірність виявлення (табл. 2).

Таблиця 2

*Класифікація рівнів тяжкості, ймовірності виникнення, вірогідності виявлення*

Шкала кількісної оцінки	Шкала якісної оцінки			
	Тяжкість	Ймовірність виникнення	Виявлення	
10	Катастрофічні	Часто (E)	Завжди	Дуже низька
9			Неминуче	Низька
8	Важкі	Можливо (D)	Дуже часто	Досить низька
7			Часто	Нижче середньої
6	Значні	Рідко (C)	Можливо	Середня
5			Випадковість	Вище середньої
4	Допустимі	Малоймовірно (B)	Час від часу	Не дуже висока
3			Дуже рідко	Висока
2	Незначні	Неможливо (A)	Практично неможливо	Дуже висока
1			Неможливо	100%-ве виявлення

У результаті ідентифікації визначаються дискретні події, які можуть вплинути на проект (власне ризики), а також дії, які можуть зробити ризики більш ймовірними (умови ризиків).

За результатами визначення якісної і кількісної оцінки для кожного ризику, необхідно розрахувати підсумкову оцінку ризику і визначити рівень, ступінь і зону ризику (табл. 3). Підсумкова оцінка ризику ( $MR_i$ ) розраховується за допомогою формули:

$$MR_i = S_i P_i D_i,$$

де  $MR_i$  – підсумкова оцінка ризику;

$S_i$  – тяжкість наслідків ризику;

$P_i$  – ймовірність виникнення ризику;

$D_i$  – вірогідність виявлення ризику.

Таблиця 3

*Інтерпретація результатів оцінювання ризику*

Оцінка MR	Рівень ризику	Ступінь ризику	Зона ризику	Необхідні заходи
10 ÷ 80	Низький	Незначний (допустимий)	Зелена	Рекомендується оцінити, які заходи можна реалізувати з мінімальними витратами. Ризик можна не враховувати
90 ÷ 290	Середній	Серйозний	Жовта	Заходи для зменшення або усунення ризику
300 ÷ 1000	Високий	Неприйнятний	Червона	Зменшення ризику обов'язково. Необхідна розробка програми управління ризиком

Отриманий рівень ризику допомагає зосередити увагу на тих сферах, які найбільше схильні до небезпеки. Вони повинні бути розглянуті у зв'язку з толерантністю до ризику, яка варіюється від компанії до компанії на основі різних драйверів/провідних ліній поведінки бізнесу і нормативів.

Планування заходів для контролю або зниження рівня ризиків є черговим етапом методики управління ризиками. На цьому етапі відбувається визначення і вибір дій, спрямованих на нейтралізацію або зниження ризиків, які є найбільш критичними для проекту, також визначається інструмент контролю і необхідність переоцінки в результаті виконання заходів щодо зниження ризиків.

На цьому етапі рекомендується визначити результат управління ризиком (прогнозоване зниження ступеня впливу на хід реалізації проекту ідентифікованого і-го ризику як кінцевий підсумок його обробки):

$$M_i = Pl_i - Pl_i^*$$

де  $Pl_i$  – ймовірні втрати від прояву і-го необробленого ідентифікованого ризику;

$Pl_i^*$  – ймовірні втрати від прояву і-го обробленого ідентифікованого ризику.

Ймовірні втрати від прояву і-го ризику виражаються як:

$$Pl_i = p_i \cdot L_i,$$

де  $p_i$  – ймовірність матеріалізації і-го ризику;

$E_{di}$  – економічний збиток від матеріалізації ризику.

Останнім ключовим елементом методики є моніторинг ризиків. Цей етап є безперервним протягом усього життєвого циклу АІС. Будь-які зміни в проекті, які можуть вплинути на ризики, і вплив ризиків на проект, документуються і лягають в основу коригувальних дій, починаючи з етапу аналізу ризиків. Моніторинг ризиків, який необхідно проводити протягом усього проекту, полягає в спостереженні за індикаторами ризиків для прийняття рішень щодо застосування плану дозволу ризиків. Вхідними даними для процесу моніторингу є сценарії ризиків, порогові значення і поточний статус ризиків.

**Висновки відповідно до статті.** У процесі роботи над цією темою були проаналізовані наукові праці вітчизняних і зарубіжних авторів, присвячені питанням управління проектами у сфері інформаційних технологій, методикам управління ризиками та їх інтеграції в процес розробки інформаційних рішень. Виходячи їх цього можна зробити висновок що процедура з управління ризиками досить глибоко інтегрується в систему управління життєвим циклом АІС. Підсумковим результатом стало створення уніфікованої науковообґрунтованої методики управління ризиками в проектах зі створення автоматизованих інформаційних систем, що дозволяє підвищити ефективність впровадження та експлуатації АІС, унаслідок чого успішне проходження процесу валідації. Теоретичні положення статті та основні методологічні напрацювання можуть бути трансформовані у відповідні практичні рішення певних завдань, що стоять перед підприємствами, які зіткнулися з валідацією АІС.

#### Список використаних джерел

1. *Брыткин А. И.* Разработка методики и моделей управления рисками в проектах разработки программного обеспечения : автореф. дис. ... канд. экон. Наук : спец. 08.00.13 «Математические и инструментальные методы экономики» / Брыткин Александр Ильич ; Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. – М., 2009. – 24 с.
2. *Назаров В. Д.* Научно-методические подходы к управлению рисками при создании автоматизированных систем : дис. ... канд. экон. Наук : спец 08.00.05 «Экономика и управление народным хозяйством» / Назаров Вячеслав Дмитриевич ; Российский заочный институт текстильной и легкой промышленности. – М., 2005. – 127 с.
3. *Петровская Ю. А.* Комплексная оценка рисков методом FMEA / Ю. А. Петровская, Е. А. Петровская // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – № 2. – С. 194–196.
4. *Харченко В. С.* Оценка надежности информационно-управляющих систем на основе иерархических FMEICIA-таблиц и марковских цепей: модели, методика и информационная технология / В. С. Харченко, Э. К. Ирадж, А. В. Комари // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2011. – № 19. – С. 169–178.
5. *Анализ видов и последствий несоответствий (FMEA) конструкторской документации* / Ю. П. Писцова, Н. Г. Николаева, Е. В. Приймак, С. М. Горюнова // Вестник Казанского технологического университета. – 2004. – № 1. – С. 411–415.
6. *Панюков Д. И.* Предварительное исследование объекта анализа в рамках метода FMEA / Д. И. Панюков, Е. В. Панюкова // Инновационная наука. – 2015. – №11. – С. 103–108.

7. Самохин С. Е. Управление качеством инновационных проектов в сфере информационных технологий / С. Е. Самохин // Транспортное дело России. – 2010. – № 5. – С. 8–13.

8. Одерышев А. В. Оценка риска: Обзор существующих методик идентификации опасностей / А. В. Одерышев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С. О. Макарова. Транспорт. – 2011. – № 2. – С. 130–136.

9. Тюрина Ю. Г. Системы менеджмента рисков центров стандартизации и метрологии: анализ и оценивание рисков / Ю. Г. Тюрина // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2012. – Т. 17, № 6. – С. 1638–1644.

10. Спиридонова А. А. Риск-ориентированный подход в системе менеджмента качества промышленного предприятия: проблема выбора методов управления рисками / А. А. Спиридонова, Е. Г. Хомутова // Организатор производства. – 2017. – № 2. – С. 92–100.

11. Медушевський С. В. Аналіз фаз життєвого циклу автоматизованої інформаційної системи в рамках виконання валідаційних робіт / С. В. Медушевський, Н. А. Єфіменко // Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки. – 2016. – № 3. – С. 50–56.

### References

1. Brytkin, A. I. (2009). *Razrabotka metodiki i modelei upravleniia riskami v proektakh razrabotki programmogo obespecheniia [Development of risk management methods and models in projects of software development]*. (Candidate's thesis). Moscow State University of Economics, Statistics, and Informatics, Moscow [in Russian].

2. Nazarov, V. D. (2005). *Nauchno-metodicheskie podkhody k upravleniiu riskami pri sozdanii avtomatizirovannykh sistem [Scientific-methodical approaches to risk management in the creation of automated systems]*. (Candidate's thesis). Russian Correspondence Institute of Textile and Light Industry, Moscow [in Russian].

3. Petrovskaiia, Iu. A., Petrovskaiia, E. A. (2016). Kompleksnaia otsenka riskov metodom FMEA [Complex risk assessment by FMEA]. *Aktualnye problemy aviatsii i kosmonavtiki – Actual problems of aviation and cosmonautics*, 2, 194–196 [in Russian].

4. Kharchenko, V. S., Iradzh, E. K., Komari, A. V. (2011). Otsenka nadezhnosti informatcionno-upravliaiushchikh sistem na osnove ierarkhicheskikh FMEICIA-tablits i markovskikh tcepei: modeli, metodika i informatcionnaia tekhnologiiia [Instrumentation and control systems dependability assessment using hierarchical FME(C)A-tables and markov's chains: models, technique and information technology]. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serii: Ekonomika. Informatika – Research Bulletin of Belgorod State University. Economics. Informatics*, 19, 169–178 [in Russian].

5. Pistcova, Iu. P., Nikolaeva, N. G., Priimak, E. V., Goriunova, S. M. (2004). Analiz vidov i posledstviu nesootvetstviu (FMEA) konstruktorskoii dokumentatsii [Analysis of types and consequences of nonconformities (FMEA) of design documentation]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Bulletin of Kazan National Research Technological University*, 1, 411–415 [in Russian].

6. Paniukov, D. I., Paniukova, E. V. (2015). Predvaritelnoe issledovanie obekta analiza v ramkakh metoda FMEA [Preliminary study of the object of analysis in the FMEA method]. *Innovatsionnaia nauka – Innovative science*, 11, 103–108 [in Russian].

7. Samokhin, S. E. (2010). Upravlenie kachestvom innovatsionnykh proektov v sfere informatcionnykh tekhnologii [Quality management of innovative projects in the field of information technology]. *Transportnoe delo Rossii – Transport business of Russia*, 5, 8-13 [in Russian].

8. Oderyshev, A. V. (2011). Otsenka riska: Obzor sushchestvuiushchikh metodik identifikatsii opasnostei [The risk analysis: the review of existing methods of identification of dangers]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. Admirala S. O. Makarova. Transport – Bulletin of the State University of Marine and River Fleet them. Admiral SO Makarov. Transport*, 2, 130–136 [in Russian].

9. Tiurina, Iu. G. (2012). Sistemy menedzhmenta riskov tcentrov standartizatsii i metrologii: analiz i ocenivanie riskov [Risk management system of standardization and metrology centers: analysis and risks evaluation]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Serii: Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Tambov University Reports. Series Natural and Technical Sciences*, 17 (6), 1638-1644 [in Russian].

10. Spiridonova, A. A., Khomutova, E. G. (2017). Risk-orientirovannyi podkhod v sisteme menedzhmenta kachestva promyshlennogo predpriiatiia: problema vybora metodov upravleniia

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

riskami [The risk-oriented approach in the quality management system of an industrial enterprise: the problem of selecting the methods of risk management]. *Organizator proizvodstva – Organizer of production*, 2, 92–100 [in Russian].

11. Medushevskiy, S. V., Yefimenko, N. A. (2016). Analiz faz zhyttievoho tsykladu avtomatyzovanoi informatsiinoi systemy v ramkakh vykonannya validatsiinykh robit [Phase analysis of life cycle automated information system within the framework of the validation]. *Visnyk Cherkaskoho derzhavnogo tekhnolohichnogo universytetu. Tekhnichni nauky – Bulletin of Cherkasy State Technological University. Series: Technical sciences*, 3, 50–56 [in Ukrainian].

UDC 004.054

*Sergii Medushevskiy*

### DEVELOPMENT OF UNIFIED METHODOLOGY OF RISK ASSESSMENT IN THE PROCESS OF VALIDATION OF AUTOMATED INFORMATION SYSTEMS

**Urgency of the research.** The intensity of the implementation of information systems in production processes and the increasing complexity of the configurations of such systems is directly related to a certain set of risks, the main cause of which is the vulnerability of information technology and systems. When the risk becomes unacceptably high, appropriate, reasonable measures must be taken to timely identify the causes and reduce the risk or complete risk elimination.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In recent years, the study of this problem has been carried out in many scientific domestic and foreign works, in which different variations of methods and approaches to risk assessment were proposed and tested in the design and operation of information systems of the corresponding complexity level.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** All modern systems of analysis and risk management, both domestic and foreign, rely on their rather subjective opinions of experts or allow the use of special questionnaires whose questions are often compelled to meet incompetent individuals. Modern risk assessment techniques do not fully detect and adequately assess possible risks in the design, development, implementation and operation of AIS in pharmaceutical industry.

**The research objective.** The purpose of the work is to develop a methodology for risk management projects related to the development, implementation of validation and further support of automated information systems for pharmaceutical industries.

**The statement of basic materials.** In the article the step-by-step method of risk management in the process of validation of automated information systems is presented, the scheme of distribution of key roles and responsibilities of the members of the risk assessment group is presented. The classification of levels of severity, probability of occurrence and probability of detection in terms of quantitative and qualitative assessment scale is considered. The principle of interpretation of the results of risk assessment is proposed.

**Conclusions.** The final result was the creation of a unified, scientifically sound methodology for risk management in projects for the creation of automated information systems, which allows to increase the efficiency of implementation and operation of AIS, in consequence of which the successful passage of the validation process.

**Keywords:** automation; validation; verification; information system; design; risk management; quality.

Table: 3. References: 11.

УДК 004.054

*Сергей Медушевский*

### РАЗРАБОТКА УНИФИЦИРОВАННОЙ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РИСКОВ В ПРОЦЕССЕ ВАЛИДАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

**Актуальность темы исследования.** Интенсивность внедрения информационных систем в производственные процессы и рост сложности конфигураций таких систем напрямую связано с определенной совокупностью рисков, основной причиной которых являются уязвимости информационных технологий и систем. Когда риск становится неприемлемо большой, необходимо применять соответствующие обоснованные меры для своевременного выявления причин и снижения уровня риска или полной ликвидации риска.

**Постановка проблемы.** Отсутствие единой унифицированной методики оценки рисков ставит под угрозу не только проект внедрения и валидации системы в а и качество продукции, целостность данных и безопасность для конечного потребителя.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В последние годы исследования данной проблемы проводилось во многих научных отечественных и зарубежных работах, в которых было предложено и апробировано разные вариации методик и подходы к оценке рисков при разработке и эксплуатации информационных систем соответствующего уровня сложности.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Все современные системы анализа и управления рисками, как отечественные, так и зарубежные, опираются в своей работе на достаточно субъективные мнения экспертов, или же допускают применение специальных опросников, на вопросы которых часто вынуждены отвечать некомпетентные

лица. Современные методики оценки рисков не позволяют в полном объеме выявить и по достоинству оценить возможные риски при проектировании, разработке, внедрении и эксплуатации АИС на фармацевтическом производстве.

**Постановка задачи.** Целью работы является разработка методики управления рисками проектов, связанных с разработкой, внедрением валидацией и последующим сопровождением автоматизированных информационных систем для фармацевтических производств.

**Изложение основного материала.** В статье представлена пошаговая методика управления рисками в процессе валидации автоматизированных информационных систем, предложенная схема распределения ключевых ролей и обязанностей членов группы оценки рисков. Рассмотрена классификация уровней тяжести, вероятности возникновения и вероятности обнаружения в разрезе количественной и качественной шкалы оценивания. Предложен принцип интерпретации результатов оценки рисков.

**Выводы в соответствии со статьей.** Итоговым результатом стало создание унифицированной научно-обоснованной методики управления рисками в проектах по созданию автоматизированных информационных систем, что позволяет повысить эффективность внедрения и эксплуатации АИС, в следствие чего успешное прохождение процесса валидации.

**Ключевые слова:** автоматизация; валидация; верификация; информационная система; проектирование; управление рисками; качество.

Табл.: 3. Бібл.: 11.

**Медушевський Сергій Вікторович** – аспірант кафедри якості, стандартизації та управління проектами, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького (б-р Шевченка, 81, м. Черкаси, 18031, Україна).

**Медушевский Сергей Викторович** – аспірант кафедри якості, стандартизації та управління проектами, Черкаський національний університет ім. Б. Хмельницького (б-р Шевченко, 81, г. Черкаси, 18031, Україна).

**Medushevskiy Sergii** – PhD student of the Department of Quality, Standardization and Project Management, Bohdan Khmelnytsky National University of Cherkasy (81 Shevchenko blvd., 18031 Cherkassy, Ukraine).

**E-mail:** victorovich.med@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-9371-0428>

**Researcher ID:** E-7703-2018

## РОЗДІЛ V. ЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.316.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-159-166

Вячеслав Безручко

### ЗАХИСТ ФІЛЬТРІВ СТРУМІВ НУЛЬОВОЇ ПОСЛІДОВНОСТІ В НЕНОРМАЛЬНИХ РЕЖИМАХ МЕРЕЖІ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку приводить до збільшення однофазних електроприймачів у системах електропостачання, які споживають несинусоїдальний струм, що спричиняють погіршення показників якості електроенергії. Для усунення негативного впливу використовують фільтри різних типів, серед яких фільтри струмів нульової послідовності. Забезпечення безвідмовної роботи таких фільтрів у ненормальних режимах мережі є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** В електричних мережах при короткому замиканні або в разі збільшення частки нелінійного навантаження в мережі збільшуються струми фільтра, що призводить до відключення фільтрів, особливо при установці кількох фільтрів в одній мережі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи патенти, про конструкції та системи захисту автотрансформаторних фільтрів струмів нульової послідовності.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Є потреба у створенні способу захисту фільтра, які дозволяють на час ненормального режиму мережі залишити фільтр у роботі.

**Постановка завдання.** Розробити захист фільтра, який дозволить на час ненормального режиму мережі залишити фільтр у роботі.

**Виклад основного матеріалу.** Запропоновані схемотехнічні рішення захисту фільтра, які дають змогу на час ненормального режиму мережі збільшити опір фільтра, що у свою чергу дозволяє знизити струм фільтра і залишити його в роботі. Запропонована методика вибору опору допоміжного дроселя, при підключенні якого в аварійному для фільтра режимі дозволяє достатньо знизити струм в обмотках, проте не дасть значно погіршити показникам несинусоїдальності кривої напруги.

**Висновки відповідно до статті.** Запропоновані схемотехнічні рішення та методика вибору елементів захисту фільтра струмів нульової послідовності дозволить забезпечити безвідмовну роботу таких фільтрів у ненормальних режимах мережі.

**Ключові слова:** фільтр струмів нульової послідовності; релейний захист; зниження вищих гармонік.

Рис.: 4. Бібл.: 14.

**Актуальність теми дослідження.** У системах електропостачання адміністративних та офісних будинків при високій концентрації офісної техніки з імпульсними джерелами живлення [1] (більше ніж 12 % [2]) з'являються проблеми: несинусоїдальність напруги, додаткові втрати, викликані вищими гармоніками (ВГ) струму, та інше [3–5]. Для зменшення ВГ напруги використовують фільтри струмів нульової послідовності (ФСНП) [6]. Забезпечення безвідмовної роботи таких фільтрів у ненормальних режимах мережі є актуальним завданням.

**Постановка проблеми.** Здебільшого схема мережі будівлі є розгалуженою, що потребує використання декількох ФСНП, що встановлюються в різних її частинах. Однак це призводить до зменшення надійності в роботі фільтрів, через те що струми ВГ розподіляються між ними нерівномірно, а у разі перевантаження одного фільтра – він відключається від мережі, ВГ струму перерозподіляються та перевантажують другий фільтр, який також відключається. Тому локальне збільшення струму в одному фільтрі в ненормальному режимі мережі призводить до лавинного відключення усіх фільтрів.

Тому актуальною є розробка способів захисту ФСНП, особливо при їх груповій роботі в електричній мережі з розгалуженою схемою.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробці нових та оптимізації відомих конструкцій ФСНП присвячені роботи [6–7]. У роботі [7] наведена класифікація всіх відомих схемних рішень ФСНП. У роботах [6; 8; 9] розкриті основи теорії ФСНП.

Для вирішення поставленої проблеми останніми роками західні компанії отримали патент на конструкцію нових фільтрів [10], які мають додаткові виводи обмоток, що до-

звояють регулювати опір фільтра. У випадку перевантаження фільтра виробник рекомендує відключити фільтр, виконати необхідні перемикання та знову увімкнути фільтр.

**Виділення недосліджених раніше частин загальної проблеми.** Проте такий підхід до вирішення проблеми може призвести до небажаних наслідків. Річ у тому, що коли перевантажується і відключається автоматикою один ФСНП, у мережі відбувається перерозподіл ВГ струму. Отже, ВГ перенавантажують інші фільтри, які також миттєво відключаються автоматикою. При цьому в системі електропостачання більше не виконується фільтрація ВГ. Це спричиняє значні спотворення напруги й порушення рівнів електромагнітної сумісності устаткування. У такому режимі система працює до виявлення проблем обслуговуючим персоналом і виконання інструкцій виробника (це може тривати більше дня). Постачання електроприймачів неякісною електричною енергією значно збільшує ймовірність виходу їх з ладу.

Тому метою цієї роботи є розробка схемотехнічних рішень захисту ФСНП, які враховуватимуть короточасне зростання струмів вищих гармонік у системі електропостачання, що підвищить стійкість роботи ФСНП у ненормальних режимах.

**Виклад основного матеріалу.** Суть захисту, що пропонується, полягає в послідовному підключенні до ФСНП допоміжного (захисного) дроселя, який виконує роль додаткового індуктивного опору. Сумарний опір нульової послідовності фільтра збільшиться, тому струм через фільтр зменшиться, що не дозволить перевищити допустимий струм ФСНП.

Схему автоматики, що регулюватиме опір фільтра в ненормальному режимі мережі, може бути виконана на стандартних елементах (рис. 1, а).

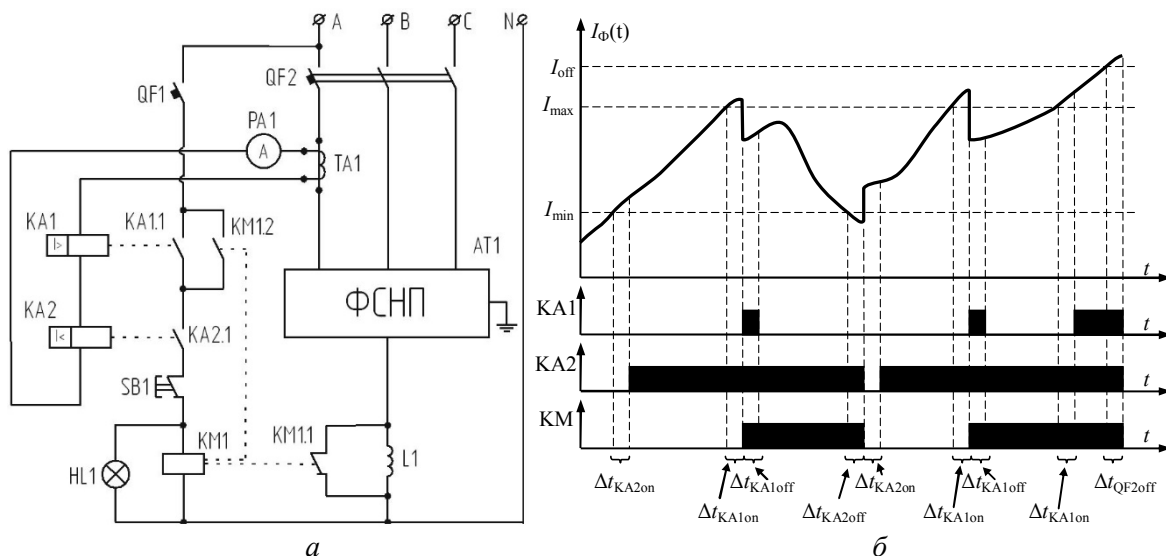


Рис. 1. Схеми захисту ФСНП (а) та діаграма її роботи (б)

Схеми захисту ФСНП складається з таких елементів: QF1, QF2 – автоматичні вимикачі; KA1, KA2 – мінімальне та максимальне реле контролю струму; KA1.1, KA2.1 – контакти мінімального та максимального реле контролю струму; KM1 – котушка контактора; KM1.1, KM1.2 – блок-контакти контактора; L1 – захисний дросель; SB1 – кнопка; AT1 – фільтр струму нульової послідовності; HL1 – світловий індикатор; TA1 – трансформатор струму; PA1 – амперметр.

#### Алгоритм роботи схеми захисту фільтра.

**Увімкнення фільтра.** Вмикається автоматичний вимикач QF1. Вмикається автоматичний вимикач QF2, через фільтр та силові контакти контактора KM, почне протікати електричний струм. При збільшенні струму ФТНП до значення  $I_{min}$  контакт KA2.1 (реле контролю струму KA2) замкнеться з витримкою часу  $\Delta t_{KA1on}$ , (рис. 1, б). Оскільки кон-



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

такти КА1.1 і КМ1.2 розімкнені, струм через обмотку контактора КМ1 протікати не буде, а отже, і струм буде протікати через силові контакти контактора КМ.

*Введення в коло фільтра додаткового опору дроселя.* При збільшенні струму ФСНП до значення більше  $I_{\max}$  спрацює реле контролю струму КА1 і контакт КА1.1 замкнеться з витримкою часу  $\Delta t_{\text{КА2on}}$ , струм почне протікати через котушку контактора КМ1 і блок-контакти контактора КМ1.1 розімкнуться, а блок контакт КМ1.2 замкнеться. Як наслідок, струм ФСНП буде протікати через захисний дросель L1. При цьому струм, який протікатиме через ФСНП, зменшиться за рахунок введення в роботу додаткового опору дроселя  $X_{L1}$ . Через зменшення струму нижче  $I_{\max}$  контакт КА1.1 реле контролю струму КА1 розімкнеться з витримкою часу  $\Delta t_{\text{КА1off}}$ , струм буде протікати через котушку L1, оскільки блок-контакт КМ1.2, контактора КМ, залишиться в замкненому положенні.

*Виключення з кола фільтра додаткового опору дроселя.* Коли струм зменшиться до значення  $I_{\min}$ , спрацює реле контролю струму КА2, і контакт КА2.1 розімкнеться з витримкою часу  $\Delta t_{\text{КА2off}}$ . У результаті струм через котушку контактора КМ протікати не буде, і блок-контакти КМ1.1 замкнуться. І як наслідок, струм через захисний дросель L1 протікати не буде. При цьому струм, який протікатиме через ФСНП, збільшиться за рахунок виведення з роботи додаткового опору котушки  $X_{L1}$ . Через збільшення струму ФСНП вище  $I_{\min}$  контакт КА2.1 (реле контролю струму КА2) замкнеться з витримкою часу  $\Delta t_{\text{КА2on}}$ .

При виникненні короткого замикання в колі ФСНП спрацюють автоматичні вимикачі QF1 або QF2.

Кнопка SB1 призначена для примусового виводу з роботи захисного дроселя L1.

**Вибір обладнання схеми захисту.**

Вибір номіналів обладнання схеми захисту ФСНП, за винятком захисного дроселя, є стандартним та розглядатися в статті не буде. Зосередимо увагу на виборі номіналу захисного дроселя.

Умови, за якими повинен обиратися дросель:

- при введенні дроселя струм в обмотках ФСНП повинен зменшуватися на достатню величину;

- при введенні дроселя показники несинусоїдальності напруги в мережі не повинні вийти за гранично допустимі значення, хоча можуть перевищити нормально допустимі встановлені стандартами ГОСТ 13109-97 або EN 50160, або IEC 61000-2-4 [4].

Розглянемо зміну цих параметрів для типового офісного будинку (рис. 2, а) зі схемою СЕ (рис. 2, б) [2; 11]. Нехай будівля живиться від трансформаторної підстанції (ТП) 10/0,4кВ, в якій встановлено два трансформатори потужністю 1000 та 400 кВА. Живлення до будівлі підводиться двома кабельними лініями (КЛ), що під'єднанні до головного розподільного щита (ГРЩ). У ГРЩ встановлені два ФСНП на кожен секцію шин. Від ГРЩ йде шинопровід, який під'єднується до кожного поверхового розподільного щита (ПРЩ). ПРЩ живить групову мережу поверху.

За правилами гармонійного аналізу, що детально описаний у [2; 12–14], для цієї СЕ складемо схему заміщення (рис. 3), де  $E_{A(1)}, E_{B(1)}, E_{C(1)}$  – симетрична трьохфазна система живлячої напруги;  $Z_{C(v)}$  – опір живлячої системи, який залежить від  $v$ -ої гармоніки;  $Z_{T(v)}$  – повний опір струмам прямої послідовності силового трансформатора;  $Z_{L(v)}$  – повний опір струмам прямої послідовності кабельної лінії від ТП до ГРЩ;  $Z_{LN(v)}$  – повний опір струмам нульової послідовності нульового провідника кабельної лінії від ТП до ГРЩ;  $J_{(v)}$  – джерела струму вищих гармонік, що моделюють емісію ВГ навантаженням;  $R_{\Phi}$  – активні опори однієї з обмоток ФСНП;  $X_{\Phi(v)}$  – індуктивні опори однієї з обмоток фільтра типу зигзаг, обумовлений потоком розсіяння;  $M$  – коефіцієнт взаєміндукції між обмотками на одному стрижні;  $I_{L(v)}$  – струм у фазному провіднику лінії від ФСНП до ТР;  $I_{LN(v)}$  – струм у нульовому провіднику лінії від ФСНП до ТР;  $I_{T(v)}$  – струм у фазах трансформатора;  $I_{TN(v)}$  – струм у нейтралі трансформатора;  $I_{\Phi(v)}$  – струм у фазах ФСНП.

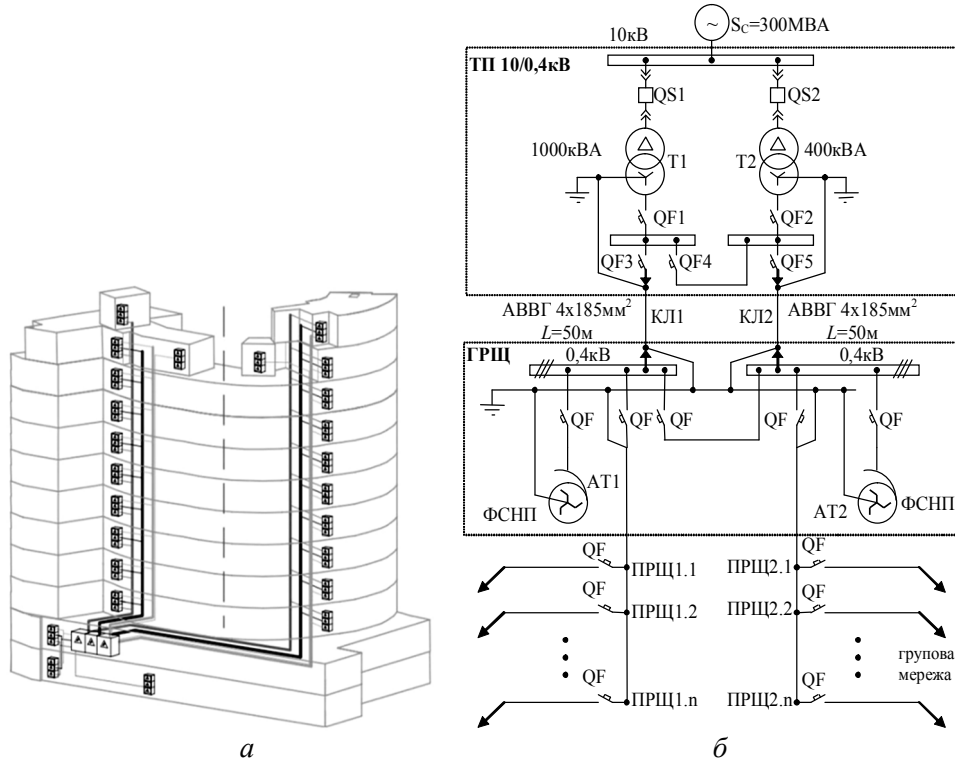


Рис. 2. Типова офісна будівля (а) зі схемою СЕ (б)

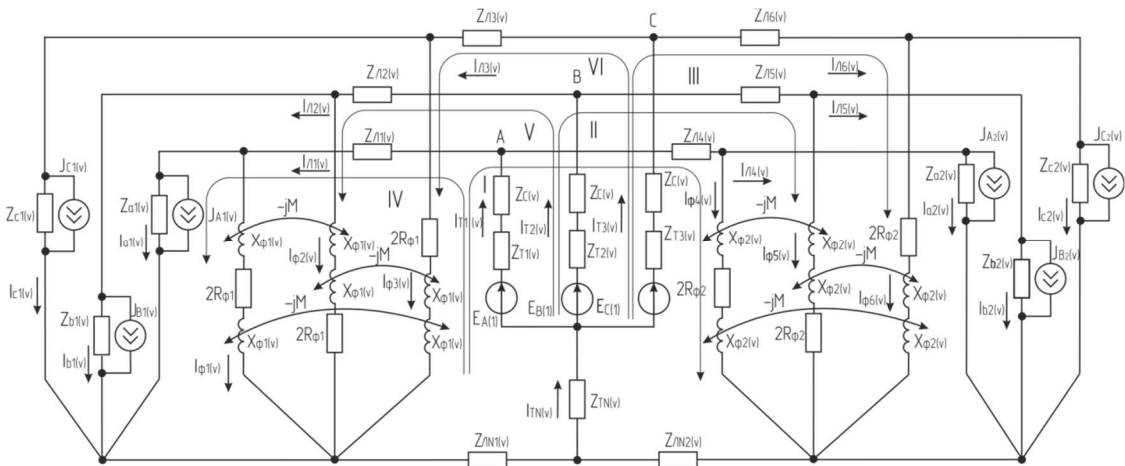


Рис. 3. Схема заміщення для розрахунку струмів і напруг ВГ

Для наведеної вище схеми заміщення за законами Кірхгофа була складена та вирішена система рівнянь. За результатами на рис. 4, а побудовані залежності 1 – зміни струму ФСНП у відносних одиницях при підключенні захисного дроселя та 2 – зміни коефіцієнта несинусоїдальності кривої напруги від опору дроселя. Опір дроселя вказаний у відносних одиницях від реактивного опору обмотки фільтра.

Як видно з рисунку 4, а, опір захисного дроселя слід обирати в межах від 1 до 3 (у відносних одиницях від реактивного опору обмотки фільтра) при цьому забезпечується різний ступень зменшення струму фільтра та погіршення коефіцієнта спотворень синусоїдальності напруги, що може варіюватися залежно від вимог до захисту (різний ступень захисту).

На рис. 4, б наведена залежність зміни струму (1) та коефіцієнта спотворень синусоїдальності напруги (2) при подальшому збільшенні частки нелінійних електроприймачів за умови введення додаткового дроселя в коло фільтра з опором, рівним опором обмотки фільтра.

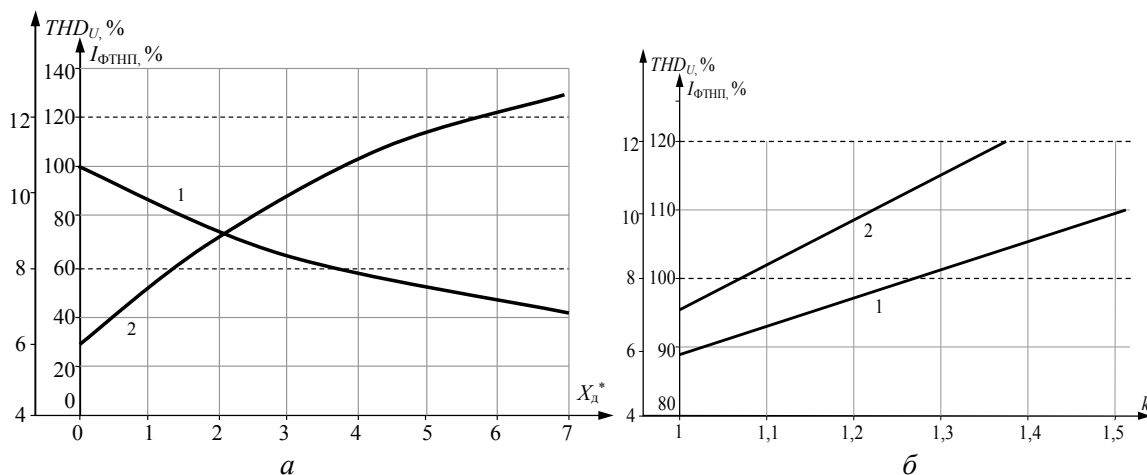


Рис. 4. Залежність  $THD_U$  та струму фільтра від опору допоміжного дроселя (а) та від нелінійних електроприймачів (б)

Ця залежність дозволяє оцінити запас стійкості роботи ФСНП надалі. З рис. 4 видно, що подальше збільшення частки нелінійних електроприймачів на 20 % після введення дроселя в коло фільтра приведе до збільшення струму фільтра до значення 106 % від номінального, а показники несинусоїдальності напруги не перевищать максимально допустимих значень.

**Висновки відповідно до статті.** Запропоновані схемотехнічні рішення захисту фільтра дають змогу на час ненормального режиму мережі збільшити опір фільтра, що у свою чергу дозволяє знизити струм фільтра й залишити його в роботі. Запропонована методика вибору опору допоміжного дроселя підключення якого в аварійному для фільтра режимі дозволяє достатньо знизити струм в обмотках, проте не дасть значно погіршати показникам несинусоїдальності напруги. Виконані розрахунки дозволяють рекомендувати обирати опір допоміжного дроселя в межах від 1 до 3 від опору обмотки ФСНП.

#### Список використаних джерел

1. Жаркин А. Ф. Анализ электропотребления импульсного источника электропитания электронной техники / А. Ф. Жаркин // Техн. электродинамика. – 2002. – № 1. – С. 19-21.
2. Шидловский А. К. Высшие гармоники в низковольтных электрических сетях / А. К. Шидловский, А. Ф. Жаркин. – К. : Наукова думка, 2005. – 210 с.
3. Жаркин А. Ф. Пути решения проблемы высших гармоник в электрических сетях Украины / А. Ф. Жаркин, И. В. Мостовик, С. А. Палачев // Технічна электродинаміка. Тем. випуск. «Силова електроніка та енергоефективність». – 2006. – Ч. 1. – С. 79–82.
4. Жаркин А. Ф. Нормативное регулирование качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения Украины и стран Евросоюза / А. Ф. Жаркин, С. А. Палачев // Техн. электродинамика. – 2007. – № 6. – С. 54–60.
5. Жаркин А. Ф. Европейская практика нормативно-правового обеспечения предельных уровней гармоник напряжения в электрических сетях / А. Ф. Жаркин, В. А. Новский, С. А. Палачев // Технічна электродинаміка. Темат. вип.: Силова електроніка та енергоефективність. – 2008. – Ч. 1. – С. 89–92.
6. Снижение потерь активной мощности в сетях низкого напряжения с помощью силовых фильтров токов нулевой последовательности / А. Ф. Жаркин, Н. Н. Капличный, В. А. Новский, А. В. Козлов // Электрические сети и системы. – 2015. – № 1. – С. 45–51.
7. Сравнительный анализ трехфазных фильтров токов нулевой последовательности автотрансформаторного и трансформаторного типа / И. В. Пентегов, С. В. Рымар, И. В. Волков та ін. // Технічна электродинаміка: Тем. випуск. Проблеми сучасної електротехніки. – 2008. – Ч. 3. – С. 49–56.
8. Пентегов И. В. Выбор мест присоединения фильтров токов нулевой последовательности к распределительной сети высотных административных зданий / И. В. Пентегов, А. Л. Приступа,

В. М. Безручко // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2011. – № 1 (47). – С. 134–141.

9. Жаркин А. Ф. Анализ эффективности фильтрации высших гармоник в сетях низкого напряжения с использованием фильтров токов гармоник, кратных трем / А. Ф. Жаркин, Н. Н. Каплычный // Техн. електродинаміка. – 2005. – № 1. – С. 47–49.

10. Патент 5406437 Сполучені Штати Америки, МПК Н 02 Н 7/08. Zero phase sequence current filter with adjustable impedance / Michael I. Levin ; заявник та патентовласник Michael I. Levin. – № 1994227408; заявл. 14.04.94; опубл. 11.04.95.

11. Жаркин А. Ф. Определение несинусоидальности токов и напряжений в электрических сетях жилых или общественных зданий / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2003. – № 1. – С. 52–56.

12. Жаркин А. Ф. Методика определения параметров схем замещения низковольтной сети с нелинейными нагрузками / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2002. – № 6. – С. 62–65.

13. Жаркин А. Ф. Анализ несинусоидальности токов и напряжений в низковольтных сетях помощью схем замещения с источниками токов высших гармоник / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2003. – № 3. – С. 47–50.

14. Жаркин А. Ф. Методика определения коэффициента несинусоидальности кривых фазных напряжений в низковольтных электрических сетях / А. Ф. Жаркин // Техн. електродинаміка. – 2003. – № 4. – С. 68–72.

### References

1. Zharkin, A.F. (2002). Analiz elektropotrebleniia impulsnogo istochnika elektropitaniia elektronnoi tekhniki [Analysis of power consumption of a pulsed power supply source for electronic equipment]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics, 1*, 19–21 [in Russian].

2. Shidlovsky, A. K. & Zharkin A. F. (2005). *Vysshie garmoniki v nizkovoltnykh elektricheskikh setiakh [Higher harmonics in low-voltage electrical networks]*. Kyiv: Naukova Dumka [in Russian].

3. Zharkin, A. F., Mostovik, I. V. & Palachev, S. A. (2006). Puti resheniia problemy vysshikh garmonik v elektricheskikh setiakh Ukrainy [Ways to solve the problem of higher harmonics in electric grids of Ukraine]. *Tekhnichna elektrodynamika: Tem. vypusk. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical Electrodynamics: Special Issue. Power Electronics and Energy Efficiency, 1*, 79–82 [in Russian].

4. Zharkin A. F. & Palachev S. A. (2007). Normativnoe regulirovanie kachestva elektroenergii v sistemakh elektrosnabzheniia obshchego naznacheniia Ukrainy i stran Evrosoiuzia [Normative Regulation of Electricity Quality in General Purpose Electric Power Supply Systems of Ukraine and EU Countries]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics, 6*, 54–60 [in Russian].

5. Zharkin, A. F., Novsky, V. A. & Palachev, S. A. (2008). Evropeiskaia praktika normativno-pravovogo obespecheniia predelnykh urovnei garmonik napriazheniia v elektricheskikh setiakh [European practice of normative and legal provision of limit levels of voltage harmonics in electrical networks]. *Tekhnichna elektrodynamika: Tem. vypusk. Sylova elektronika ta enerhoefektyvnist – Technical Electrodynamics: Special Issue. Power Electronics and Energy Efficiency, 1*, 89–92 [in Russian].

6. Zharkin, A. F., Kaplychnyi, N. N., Novsky, V. A., Kozlov, A. V. (2015). Snizhenie poter aktivnoi moshchnosti v setiakh nizkogo napriazheniia s pomoshchiu silovykh filtrov tokov nulevoi posledovatelnosti [Reduction of active power losses in low voltage networks by means of power filters of zero-sequence currents]. *Elektricheskie seti i sistemy – Electrical networks and systems, 1*, 45–51 [in Russian].

7. Pentegov, I. V., Rymar, S. V., Volkov, I. V., Bezruchko, V. M., Larchenko, B. B., Kryvenko, H. S. & Levin M. (2008). Sravnitelnyi analiz trekhfaznykh filtrov tokov nulevoi posledovatelnosti avtotransformatornogo i transformatornogo tipa [Comparative analysis of three-phase zero sequence currents filters of autotransformer and transformer type]. *Tekhnichna elektrodynamika: Tem. vypusk. Problemy suchasnoi elektrotekhniki – Technical Electrodynamics: Special Issue. Problems of Modern Electrical Engineering, 3*, 49–56 [in Russian].

8. Pentegov I. V., Pristupa A. L. & Bezruchko V. M. (2011). Vybory mest prisoedineniia filtrov tokov nulevoi posledovatelnosti k raspredelitelnoi seti vysotnykh administrativnykh zdaniy [Selection of the places of connection of zero sequence current filters to the distribution network of high-rise administrative buildings]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – Journal of Chernihiv State Technological University, 47*, 134–141 [in Russian].

9. Zharkin, A. F. & Kaplychnyi, N. N. (2005). Analiz effektivnosti filtratsii vysshikh garmonik v setiakh nizkogo napriazheniia s ispolzovaniem filtrov tokov garmonik, kratnykh trem [Analysis of the

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

efficiency of higher harmonics filtration in low-voltage networks using harmonic currents multiple of three filters]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 1, 47–49 [in Russian].

10. Levin, M. I. (1995). Zero phase sequence current filter with adjustable impedance. Patent USA No. 5406437 MPK N 02 H 7/08. Retrieved from <https://patents.google.com/patent/US5406437A/en>.

11. Zharkin, A.F. (2003). Metodika opredeleniia koefitsienta nesinusoidalnosti krivykh faznykh napriazhenii v nizkovolnykh elektricheskikh setiakh [Determination of non-sinusoidal currents and voltages in electrical networks of residential or public buildings]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 1, 52–56 [in Russian].

12. Zharkin, A.F. (2002). Metodika opredeleniia parametrov skhem zameshcheniia nizkovoltnoi seti s nelineinymi nagruzkami [Method for determining the parameters of low-voltage network replacement circuits with non-linear loads]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 6, 62–65 [in Russian].

13. Zharkin, A. F. (2003). Analiz nesinusoidalnosti tokov i napriazhenii v nizkovolnykh setiakh pomoshchiu skhem zameshcheniia s istochnikami tokov vysshikh garmonik [Analysis of the non-sinusoidal nature of currents and voltages in low-voltage networks using substitution circuits with current sources of higher harmonics]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 3, 47–50 [in Russian].

14. Zharkin, A.F. (2003). Metodika opredeleniia koefitsienta nesinusoidalnosti krivykh faznykh napriazhenii v nizkovolnykh elektricheskikh setiakh [Method for determining the non-sinusoidal coefficient of the phase voltage curves in low-voltage electrical networks]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical Electrodynamics*, 4, 68–72 [in Russian].

UDC 621.316.1

*Viacheslav Bezruchko*

## PROTECTION OF ZERO SEQUENCE CURRENT FILTERS IN THE ABNORMAL NETWORK MODES

**Urgency of the research.** Modern development trends lead to an increase in single-phase electric devices in power supply systems that consume non-sinusoidal current, which leads to deterioration of power quality indices. To eliminate negative effects, filters of various types are used, among which zero sequence currents filters. Providing trouble-free operation of such filters in abnormal network modes is an urgent task.

**Target setting.** In electrical networks with short-circuiting or with increased part nonlinear load of the network, the currents of the filter increase, which causes the filters to be switched off, especially when installing several filters in the same network.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications, including patents, on design and protection systems for autotransformer zero sequence currents filters were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** There is a need to create a protection method that allows the filter to remain active during the abnormal network mode.

**The research objective.** Develop a filter protection that allows the filter to remain active during the abnormal network mode.

**The statement of basic materials.** Schematic filter protection solutions are proposed that allow to increase the filter resistance during an abnormal mode of the network, which in turn reduces the filter current and leaves it in operation. The proposed method of selecting the resistance of the auxiliary choke when turned on in the emergency mode for the filter allows sufficiently to reduce the current in the windings, but will not significantly degrade the parameters of the non-sinusoidal voltage.

**Conclusions.** The proposed circuitry solutions and the method of selecting the elements of the protection of the zero sequence currents filter will ensure the trouble-free operation of such filters in the abnormal modes of the network.

**Keywords:** zero sequence current filter; relay protection; higher harmonics.

Fig.: 4. References: 14.

УДК 621.316.1

*Вячеслав Безручко*

## ЗАЩИТА ФИЛЬТРОВ ТОКОВ НУЛЕВОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ В НЕНОРМАЛЬНЫХ РЕЖИМАХ СЕТИ

**Актуальность темы исследования.** Современные тенденции развития приводят к увеличению однофазных электроприемников в системах электроснабжения, потребляющих несинусоидальный ток, что приводит к ухудшению показателей качества электроэнергии. Для устранения негативного влияния используют фильтры различных типов, среди которых фильтры токов нулевой последовательности. Обеспечение безотказной работы таких фильтров в ненормальных режимах сети является актуальной задачей.

**Постановка проблемы.** В электрических сетях при коротком замыкании или при увеличении доли нелинейной нагрузки в сети увеличиваются токи фильтра, что приводит к отключению фильтров, особенно при установке нескольких фильтров в одной сети.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая патенты, о конструкциях и системах защиты автотрансформаторных фильтров токов нулевой последовательности.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Существует необходимость в создании способа защиты фильтра, которые позволяют на время ненормального режима сети оставить фильтр в работе.

**Постановка задачи.** Разработать защиту фильтра, которые позволяют на время ненормального режима сети оставить фильтр в работе.

**Изложение основного материала.** Предложенные схемотехнические решения защиты фильтра, которые позволяют на время ненормального режима сети увеличить сопротивление фильтра, что в свою очередь позволяет снизить ток фильтра и оставить его в работе. Предложена методика выбора сопротивления вспомогательного дросселя, при включении которого в аварийном для фильтра режиме позволяет достаточно снизить ток в обмотках, однако не даст значительно ухудшиться показателям несинусоидальности напряжения.

**Выводы в соответствии со статьей.** Предложенные схемотехнические решения и методика выбора элементов защиты фильтра токов нулевой последовательности позволят обеспечить безотказную работу таких фильтров в ненормальных режимах сети.

**Ключевые слова:** фильтр токов нулевой последовательности; релейная защита; снижение высших гармоник.

*Рис.: 4. Библ.: 14.*

**Безручко Вячеслав Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем и сетей, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Безручко Вячеслав Михайлович** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических систем и сетей, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Bezruchko Viacheslav** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Electrical Systems and Networks Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** slavajm@meta.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3705-8543>

**ResearcherID:** F-5725-2014

*Олександр Жартовський, Валерій Кравченко, Олексій Ларічкін, Жан Карягін*

## АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ВИМІРУ ТА РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ ІМПУЛЬСНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

**Актуальність теми дослідження.** Імпульсні технології застосовуються в різноманітних технологічних процесах обробки матеріалів [1–3], наприклад, у зміцненні металевих поверхонь за допомогою імпульсного магнітного поля [4–7] або електричного струму для зміцнення поверхні за допомогою модифікування [8], а також у екологічних проектах [9].

**Постановка проблеми.** Для розробників технологічних процесів важливим є дотримання параметрів енергетичних показників імпульсного електричного струму. У процесі розроблення технологій вирішується питання суперечностей між можливостями технологічного обладнання та складністю виміру та дотримання необхідних параметрів. Тому для дослідників потрібні надійні системи виміру й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікації про автоматизовані системи для виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсного електричного струму обмежені за обсягом і напрямками. Наявні підходи [10–12] до створення обладнання не пропонують комп'ютеризованих методів обліку й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Тому розробки автоматизованих систем вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму для технологічних процесів актуальні.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка автоматизованої системи вимірювання та створення програмного забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

Завдання роботи передбачає:

- розроблення керованого генератора імпульсів електричного струму;
- розроблення програмного забезпечення для автоматизованого виміру і розрахунку параметрів енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Виклад основного матеріалу.** Була розроблена автоматизована система вимірювання та розрахунку, створено програмний продукт для автоматизованого виміру енергетичних показників імпульсів електричного струму. Для цього розроблено схему автоматизованої системи, керований генератор імпульсів електричного струму і програмне забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Висновки відповідно до статті.** Була розроблена автоматизована система вимірювання й розрахунку, створено програмний продукт для автоматизованого виміру та розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

**Ключові слова:** імпульс; вимірювання; автоматизована система; розрахунок параметрів.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** Імпульсні технології застосовуються в різноманітних технологічних процесах обробки матеріалів [1–3], наприклад, у зміцненні металевих поверхонь за допомогою імпульсного магнітного поля [4–7] або електричного струму для зміцнення поверхні за допомогою модифікування [8], а також у екологічних проектах [9].

**Постановка проблеми.** Для розробників технологічних процесів важливим є дотримання параметрів енергетичних показників імпульсного електричного струму. У процесі розроблення технологій вирішується питання суперечностей між можливостями технологічного обладнання і складністю виміру та дотримання необхідних параметрів. Тому для дослідників потрібні надійні системи виміру й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Публікації про автоматизовані системи для вимірювання й розрахунку енергетичних показників імпульсного електричного струму обмежені за обсягом й напрямками. Наявні підходи [10–12] до створення обладнання не пропонують комп'ютеризованих методів обліку й розрахунку показників параметрів імпульсного електричного струму.

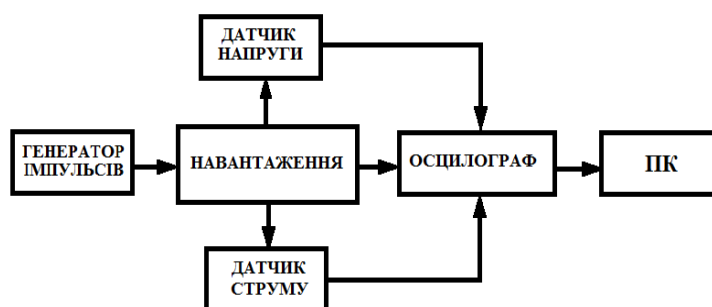
**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Тому розробки автоматизованих систем вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму для технологічних процесів актуальні.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка автоматизованої системи вимірювання та розрахунку, створення програмного забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

Завдання роботи передбачає:

- розробку керованого генератора імпульсів електричного струму;
- розробку програмного забезпечення для автоматизованого виміру та розрахунку параметрів енергетичних показників імпульсів електричного струму.

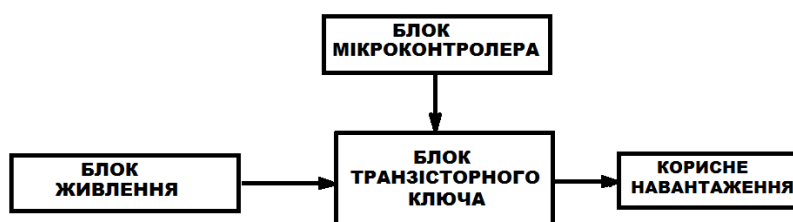
**Виклад основного матеріалу.** Структурна схема розробленої автоматизованої системи вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму зображена на рис. 1.



*Рис. 1. Структурна схема автоматизованої системи вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму*

Автоматизована система вимірювання енергетичних показників імпульсного електричного струму розроблена для дослідження сукупності імпульсів струму та напруги. Сукупність часових функцій миттєвих значень струму та напруги визначають часову функцію миттєвих значень потужності, що виділяється на навантаженні. Часова функція потужності визначає часову функцію енергії електричного імпульсу. Завдяки цьому є можливим подальший розрахунок величини енергії і потужності імпульсу.

Частиною автоматизованої системи є генератор імпульсів. Його структурна схема зображена на рис. 2.



*Рис. 2. Структурна схема генератора імпульсів*

Напруга заряджання і ємність конденсаторної батареї регулюється. Блок мікроконтролера призначено для введення даних і регулювання часу імпульсу й паузи. Блок мікроконтролера містить кнопочку клавіатуру та рідкокристалічний індикатор. За допомогою цих пристроїв здійснюється завдання режимів роботи транзистора, тобто режиму імпульсного електричного струму. Блок транзисторного ключа містить у собі транзисторний ключ; драйвер транзисторного ключа.

Після підключення пристрою заряджається батарея конденсаторів до заданої напруги. Блоком мікроконтролера за допомогою кнопочкової клавіатури та рідкокристалічного індикатора здійснюється введення даних і регулювання часу імпульсу й паузи. Сигналом на блок транзисторного ключа здійснюються відкриття транзистора та пропускання імпульсу струму заданої частоти та тривалості.

Для отримання та фіксування в режимі реального часу результатів проведення експериментів використовуються датчики струму та напруги. Експериментальні дані (часові функції струму й напруги) зберігаються на персональному комп'ютері. Програмне забезпечення осцилографа дає змогу проводити аналіз імпульсів у режимі реального часу, а також працювати з результатами експерименту, збереженими у вигляді таблиць. Реєстрація часової функції напруги на каналі осцилографа наведена на рис. 3.





Рис. 3. Вікно реєстрації часової функції напруги на каналі 1

Дослідник у режимі реального часу на екрані комп'ютера спостерігає послідовність імпульсів напруги та струму. Сигнали струму та напруги зберігаються у вигляді табличних числових масивів. Стає можливим розрахунок величини енергії одиничного імпульсу.

На рис. 4 зображене наближене представлення електричного імпульсу.

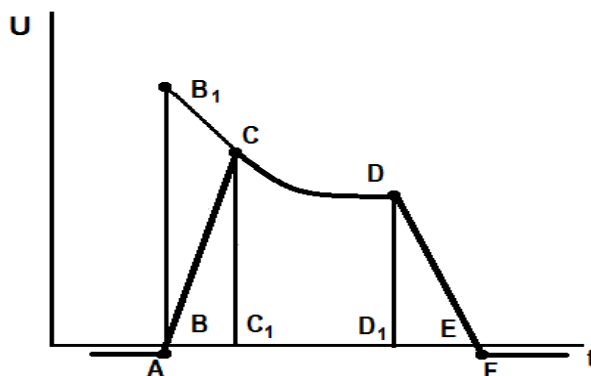


Рис. 4. Наближене представлення електричного імпульсу

Ознакою початку імпульсу (передній фронт) є зміна ординати наступної точки з близько нульового значення до деякої позитивної ненульової величини. Ознакою кінця імпульсу (задній фронт) є зміна ординати наступної точки з деякої позитивної ненульової величини до близько нульового значення. Для подальшого аналізу з  $n$  виділених імпульсів обирається один.

Після виділення підмножин точок, що відповідають фактичним імпульсам напруги та струму, програмно виконуються наступні підготовчі операції. Якщо під час зняття напруги чи струму використовувався дільник напруги, програма автоматично збільшує ординату кожної точки в 10 разів. Особливістю осцилографа є те, що обидва канали реєструють електричні сигнали незалежно один від одного. Тому абсциси точок початку імпульсів напруги та струму відповідають різним номерам строк у таблицях відповідних файлів \*.csv. Для правильності подальших розрахунків програма задає однаковий час початку імпульсів. Оскільки тривалості як імпульсу струму, так і імпульсу напруги однакові, то й абсциси останніх точок імпульсів будуть однаковими. Таким чином, відбувається горизонтальний зсув імпульсів уздовж осі часу, що ніяким чином не впливає на подальший розрахунок енергетичних показників імпульсного електричного струму, а є необхідною умовою правильності розрахунку потужності та енергії імпульсу. Час переводиться з наносекунд у секунди.

Часова функція потужності імпульсу електричного струму:

$$p(t) = i(t) \cdot u(t) . \tag{1}$$

Часова функція енергії, протягом інтервалу часу існування імпульсу:

$$e(t) = \int p(t)dt . \tag{2}$$

Метою роботи програми є визначення середніх значень потужності та енергії.

Формула розрахунку середньої потужності імпульсу:

$$P_{CP} = \frac{\sum_{i=1}^N p(t_i)}{N}, \quad (3)$$

де  $N$  – кількість точок, що належать імпульсу.

Формула розрахунку середньої енергії, що виділяється за один імпульс:

$$E_{CP} = P_{CP} \cdot t_{ИМП}. \quad (4)$$

Згідно з класичними методиками розрахунку програмно проводиться визначення коефіцієнтів для теоретичних ліній регресії (лінійна функція, квадратична функція, степенева функція, логарифмічна функція, показова функція) для часових функцій напруги та струму ( $u(t)$ ,  $i(t)$ ) шляхом рішення відповідних систем алгебраїчних рівнянь. Завдання програміста полягає також у тому, щоб програма проводила автоматичний розрахунок середньоквадратичної помилки в області емпіричних даних для кожної інтерполяційної кривої. Робиться висновок про найбільш точну математичну функцію, яка описує процес розряду батареї.

Результати роботи програми для кожного режиму функціонування системи (найбільш точні інтерполяційні функції для імпульсів напруги та струму, середні значення потужності та енергії) систематизуються за параметрами налаштування роботи системи та зберігаються. Базуючись на цих теоретичних пропозиціях, можна спрогнозувати енергетичні параметри роботи системи при більших значеннях напруги та ємності батареї.

Викладені пропозиції дозволяють розробити алгоритми розрахунку кривої найліпшого наближення.

Аналітичний вираз функції відгуку для електричної напруги та сили струму представляється у вигляді полінома:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i < j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (5)$$

де  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$ ,  $b_{ii}$  – вибіркові коефіцієнти регресії, які можна одержати, використовуючи результати обробки вимірних даних.

Отримана емпіричним шляхом функція (8) являє собою математичну модель процесу.

Для пошуку значень величин електричної напруги та сили струму в вигляді математичної моделі використовуються побудовані за принципом найменших квадратів такі залежності-рівняння: пряма лінія; парабола другого порядку; степенева функція; показова функція; логарифмічна функція.

Алгоритм обробки покроковий. Першою для аналізу автоматично вибирається пряма лінія, другою – парабола другого порядку й ін. Для кожної моделі програмно обчислюються середньоквадратичні відхилення від заданих точок, які потім порівнюються між собою. Модель, у якої відхилення на інтервалі існування імпульсу найменше, приймається за оптимальну модель найліпшого наближення. Ця математична модель процесу буде використовуватись у подальших дослідженнях.

Згідно з класичним методом розрахунку (принцип найменших квадратів) програмно проводиться визначення коефіцієнтів теоретичних ліній регресії (лінійної функції, квадратичної функції, степеневої функції, логарифмічної функції, показової функції) для часових функцій напруги та струму ( $u(t)$ ,  $i(t)$ ) шляхом рішення відповідних систем алгебраїчних рівнянь [13]. Для визначення коефіцієнтів функцій беруться емпіричні точки тільки з діапазону CD (рис. 4). Завдання програміста полягає також у тому, щоб

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

програма проводила автоматичний розрахунок середньоквадратичної помилки в області вхідних емпіричних даних для кожної апроксимуючої кривої.

Результати роботи програми для кожного набору значень параметрів роботи системи (найбільш точні апроксимуючі функції для імпульсів напруги та струму, середні значення потужності та енергії) систематизуються та зберігаються на ПК. Ґрунтуючись на отриманих математичних моделях, можна спрогнозувати значення енергетичних показників імпульсного електричного струму.

Інтегральна обробка емпіричних даних виконується в такій послідовності:

1. Програміст отримує від експериментатора пакет файлів із результатами проведення експериментів. Файли містяться в папках парами (опосередкований струм – напруга). Для кожної пари вказується набір значень параметрів функціонування системи (напруга заряду батареї, ємність батареї, частота та тривалість імпульсів електричного струму в контурі розряду).

2. Усі файли (формат \*.csv) повторно зберігаються, але вже у форматі \*.txt. Отримані файли (формат \*.txt) зберігаються у форматі \*.xlsx для зручності й універсальності. Надалі програма буде завантажувати дані з файлів формату \*.xlsx.

При натисканні на відповідну кнопку програма спочатку завантажує 1 файл із пари (струм-напруга). Надалі програма працює в напівавтоматичному режимі.

Після завантаження вхідних даних (файл \*.xlsx для напруги) програма автоматично виділяє один імпульс. Далі відбувається регресійний аналіз. Для кожної з п'яти апроксимуючих кривих розраховуються коефіцієнти.

На екрані окремо виводиться тип апроксимуючої кривої найкращого наближення та її коефіцієнти. Ординати точок теоретичної кривої в часовому діапазоні існування імпульсу зберігаються в пам'яті програми. Аналогічна послідовність операцій виконується при наступному завантаженні другого файла із пари струм-напруга (файл \*.xlsx для опосередкованого струму). Для розробки інформаційної моделі програми дослідження моделей найкращого наближення експериментальних даних застосовано технологію структурного аналізу і проектування SADT (Structured Analysis and Design Technique) [14]. SADT діаграма першого рівня обробки вимірювальних даних наведена на рис. 5. Функціональний опис кожній активності для контекстної структурно-функціональної моделі першого рівня (наведено в таблиці).

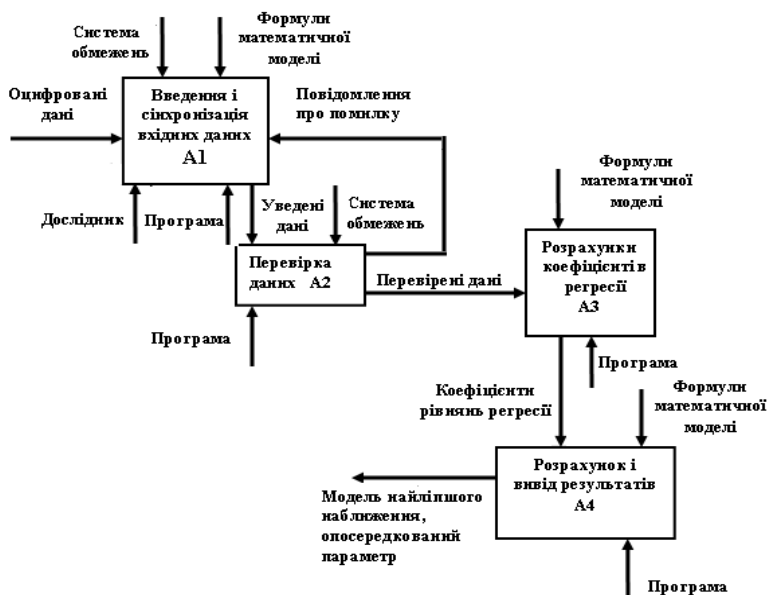


Рис. 5. SADT діаграма першого рівня обробки вимірювальних даних

## Опис активності SADT-діаграми першого рівня

Активність	Призначення	Вхідні дані	Вихідні дані	Управління	Виконавець
A1	Присвоєння змінним значень, отриманих із досліджу	Оцифровані дані досліджу	Уведені дані	Дії визначаються дослідником	Дослідник
A2	Перевірка даних на допустимі значення та синхронізацію	Уведені дані	Перевірені дані	Залежить від системних обмежень	Програма
A3	Розрахунок коефіцієнтів регресії	Перевірені дані	Коефіцієнти рівнянь регресії	Формули математичної моделі	Програма
A4	Розрахунок потужності та вивід результатів	Коефіцієнти рівнянь регресії	Модель найліпшого наближення, опосередкований параметр	Формули математичної моделі та функції для відображення даних	Програма

На основі отриманих теоретичних ліній регресії найліпшого наближення розраховуються середнє значення потужності та середнє значення енергії, що виділяється за один імпульс (рис. 6). Програмний продукт для розрахунку енергетичних показників імпульсно-електричного струму та вибору математичної моделі найкращого наближення для подальшого аналізу був розроблений із використанням Delphi 10.2 Tokyo Starter Edition [15].

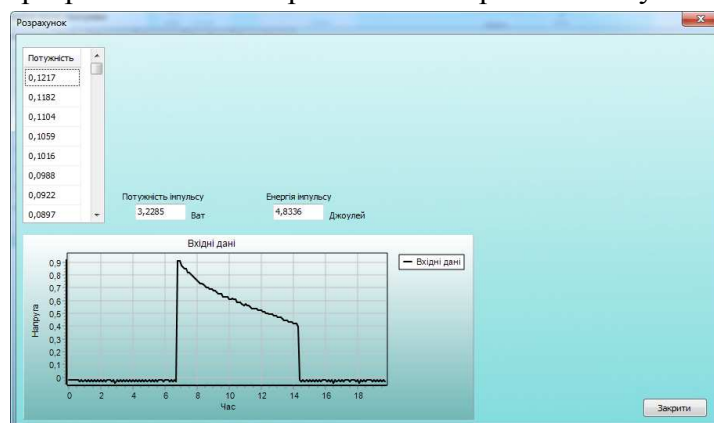


Рис. 6. Вікно розрахунку середньої потужності та енергії імпульсу

**Висновки відповідно до статті.** Була розроблена автоматизована система вимірювання та розрахунку, створено програмний продукт для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму. Для цього розроблено схему автоматизованої системи, керований генератор імпульсів електричного струму і програмне забезпечення для автоматизованого виміру й розрахунку енергетичних показників імпульсів електричного струму.

#### Список використаних джерел

1. Баранов М. И. Прогрессивные импульсные технологии обработки материалов: история, физические основы и технические возможности / М. И. Баранов // Электротехника и электромеханика. – 2009. – № 1. – С. 42–54.
2. Батыгин Ю. В. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский, Л. Т. Хименко. – Х. : МОСТ-Торнадо, 2003. – 288 с.
3. Исследование возможности применения разрядно – импульсного метода в технологиях очистки промышленных стоков обогатительного производства / В. В. Коростовенко, М. В. Ворошилова, А. Г. Степанов, В. А. Гронь, А. В. Галайко // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 4 (1). – С. 39–43.
4. Водин Д. В. Магнитно-импульсная обработка как перспективный метод повышения износостойкости металлорежущего инструмента / Д. В. Водин // Технические науки: проблемы и перспек-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тивы : материалы III Междунар. науч. конф. (г. Санкт-Петербург, июль 2015 г.). – СПб. : Свое издательство, 2015. – С. 67–70.

5. *Поletaев В. А.* Исследование на износостойкость зубчатых колес, упроченных импульсной магнитной обработкой / В. А. Поletaев, А. Н. Шабалин // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 3. – С. 26–27.

6. *Плетаев В. А.* Повышение долговечности медицинских метчиков методом импульсной магнитной обработки / В. А. Плетаев, А. А. Зайцев // Вестник ИГЭУ. – 2006. – Вып. 3. – С. 29–30.

7. *Батыгин Ю. В.* Магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов / Ю. В. Батыгин, В. И. Лавинский. – Х. : МОСТ- Торнадо, 2002. – 288 с.

8. *Упрочнение* приповерхностных слоев образцов из стали 45 с помощью микроплазменной обработки / В. А. Иванов, М. Е. Кonyжев, Л. И. Куксенова та ін. // Проблемы машиностроения и надежности машин. – 2015. – № 4. – С. 96–102.

9. *Рязанов Н. Д.* Действие обеззараживающих факторов импульсного электрического разряда в воде / Н. Д. Рязанов, Е. Н. Перевязкина // Электронная обработка материалов. – 1984. – № 2. – С. 43–45.

10. *Бойко Н. И.* Высоковольтные аппараты и технологии на основе комплекса высоковольтных импульсных воздействий / Н. И. Бойко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – 2001. – № 16. – С. 11–16.

11. *Установка* для обработки текучих продуктов при помощи комплекса импульсных воздействий и результаты исследований / Н. И. Бойко, А. Н. Тур, Л. С. Евдошенко и др. // Технічна електродинаміка. – 2001. – № 4. – С. 59–63.

12. *Высоковольтные* установки и технологии на основе комплекса высоковольтных импульсных воздействий / Н. И. Бойко, Л. С. Евдошенко, А. И. Зароченцев, В. М. Иванов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» : збірник наукових праць. Тематичний випуск: Електроенергетика та перетворююча техніка. – 2004. – № 35. – С. 54–63.

13. *Зайцев Г. Н.* Математическая статистика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М. : Наука, 1984. – 425 с.

14. *Марка Д. А.* Методология структурного анализа и проектирования SADT / Дэвид А. Марка, Клемент Л. Мак Гоуэн. – М. : Метатехнология, ТОО ФРЭД. 1993. – 242 с.

15. *Delphi 10.2* Tokyo Starter Edition. Бесплатные инструменты [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.embarcadero.com/ru/free-tools>.

### References

1. Baranov, M. I. (2009). Progressivnyye impulsnyye tehnologii obrabotki materialov: istoriia, fizicheskie osnovy i tehnicheckie vozmozhnosti [Progressive impulse technologies of material processing: history, physical bases and technical capabilities]. *Elektrotehnika i elektromehanika – Electrical engineering and electromechanics, 1*, 42–54 [in Russian].

2. Batygin, Yu. V., Lavinskii, V. I., Khimenko, L. T. (2003). *Impulsnyye magnitnye polia dlia progressivnykh tehnologiy [Pulsed magnetic fields for advanced technologies]*. Kharkov: MOST-Tornado [in Russian].

3. Korostovenko, V. V., Voroshilova, M. V., Stepanov, A. G., Gron, V. A., Galaiko, A. V. (2013). Issledovanie vozmozhnosti primeneniya razryadno – impulsnogo metoda v tehnologiyah ochistki promyshlennyykh stokov obogatitel'nogo proizvodstva [Study possibilities to use of discharge-pulse method in technologies effluent treatment of concentrating production]. *Fundamentalnye issledovaniia – Fundamental research, 4 (1)*, 39–43 [in Russian].

4. Vodin, D. V. (2015). Magnitno-impulsnaia obrabotka kak perspektivnyi metod povysheniia iznosostoikosti metallorezhushchego instrumenta [Magneto-impulse treatment as a promising method for increasing the wear resistance of metal cutting tools]. *Tekhnicheskiiye nauki problemy i perspektivy: materialy III Mezhdunar. nauch. konf. – Technical sciences: problems and prospects: materials III Intern. Sci. Conf.* (St. Petersburg, July 2015) (pp. 67–70). St. Petersburg: Svoe izdatelstvo [in Russian].

5. Poletaev, V. A., Shabalin, A. N. (2006). Issledovanie na iznosostoykost zubchatykh koles, uprochnennykh impulsnoy magnitnoy obrabotkoy [Investigation of the wear resistance of gears reinforced with pulsed magnetic treatment]. *Vestnik IGEU – Bulletin of ISEU, 3*, 26–27 [in Russian].

6. Pletaev, V. A., Zaitsev, A. A. (2006). Povyshenie dolgovechnosti meditsinskih metchikov metodom impulsnoy magnitnoy obrabotki [Increasing the durability of medical taps by the method of pulsed magnetic processing]. *Vestnik IGEU – Bulletin of ISEU, 3*, 29–30 [in Russian].

7. Batygin, Yu. V., Lavinskii, V. I. (2002). *Magnitno-impulsnaya obrabotka tonkostennykh metallov* [Magnetic-pulse processing of thin-walled metals]. Kharkov: MOST- Tornado [in Russian].
8. Ivanov, V. A., Konyzhev, M. E., Kuksenova, L. I., Lapteva, V. G., Hrennikova, I. A. (2015). Uprochnenie pripoverhngostnykh sloev obraztsov iz stali 45 s pomoschyu mikroplazmennoy obrabotki [Strengthening of near-surface layers of samples from steel 45 by means of micro plasma treatment]. *Problemy mashinostroeniia i nadezhnosti mashin – Problems of machine building and machine reliability*, 4, 96-102 [in Russian].
9. Riazanov, N. D., Pereviashkina, E. N. (1984). Deystvie obezzarazhivayuschih faktorov impulsnogo elektricheskogo razriada v vode [The effect of disinfecting factors of a pulsed electric discharge in water]. *Elektronnaia obrabotka materialov – Electronic material processing*, 2, 43–45 [in Russian].
10. Boiko, N. I. (2001). Vysokovoltnye apparaty i tehnologii na osnove kompleksa vysokovoltnykh impulsnykh vozdeistvii [High-voltage apparatuses and technologies based on a complex of high-voltage impulse actions]. *Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy poiltchnichnyi institut» – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 16, 11–16 [in Russian].
11. Boiko, N. I., Tur, A. N., Evdoshenko, L. S., Ivanov, V. M. et al. (2001). Ustanovka dlia obrabotki tekuchikh produktov pri pomoshchi kompleksa impulsnykh vozdeistvii i rezultaty issledovaniia [Installation for the processing of flowing products by means of a complex of impulse actions and the results of investigations]. *Tehnicna elektrodynamika – Technical electrodynamics*, 4, 59–63 [in Russian].
12. Boiko, N. I., Evdoshenko, L. S., Zarochentsev, A. I., Ivanov, V. M. (2004). Vysokovoltnye ustanovki i tehnologii na osnove kompleksa vysokovoltnykh impulsnykh vozdeistvii [High-voltage plants and technologies based on a complex of high-voltage impulse actions]. *Visnik Natsionalnogo tehnicnogo universitetu «Kharkivskiy poiltchnichnyi institut» – Bulletin of the National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»*, 35, 54–63 [in Russian].
13. Zaitsev, G. N. (1984). *Matematicheskaiia statistika v eksperimentalnoi botanike* [Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow: Nauka [in Russian].
14. Devid A. Marka, Klement L. Mak Gouen (1993). *Metodologiia strukturnogo analiza i proektirovaniia SADT* [Methodology of structural analysis and design of SADT]. Moscow: Metatehnologiya, TOO FRED [in Russian].
15. Delphi 10.2 Tokyo Starter Edition. *Besplatnye instrumenty* [Free tools]. Retrieved from <https://www.embarcadero.com/ru/free-tools>.

UDC 519.6

Oleksandr Jhartovsky, Valeriy Kravchenko, Oleksii Larichkin, Zhan Karyahin

## AUTOMATED SYSTEM OF MEASUREMENT AND CALCULATION OF PULSE ELECTRIC CURRENT PARAMETERS

**Urgency of the research.** Pulse technologies are used in a variety of technological processes for processing materials [1 ± 3], for example, in hardening of metal surfaces by means of a pulsed magnetic field [4 ± 7], surface modification by means of pulsed electric current [8] also in ecological projects [9].

**Target setting.** For developers of technological processes, it is important to observe the energy parameters of a pulsed electric current. In the process of developing technologies, the issue of the contradiction between the capabilities of technological equipment, measurements and observance of necessary parameters is solved.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Publications about automated systems for measuring and calculating energy of pulsed electric current are limited in volume and directions. Existing approaches [10-12] to the creation of equipment do not offer computerized methods of accounting and calculation of pulsed electric current parameters.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Therefore, the development of automated systems for measuring the energy parameters of pulsed electric current for technological processes is relevant.

**The research objective.** The aim of the work is the development of an automated system for measuring and creating software for the automated measurement of the energy parameters of electric current pulses.

The tasks of the work include:

- the development of a controlled electric current pulse generator;
- the development of software for the automated measurement and calculation the energy parameters of electric current pulses.

**The statement of basic materials.** An automated measurement system was developed and a software product was developed for the automated measurement of the energy parameters of electric current pulses. For this purpose, a scheme of an automated system, a controlled electric current pulse generator, and software for the automated measurement of the energy parameters of electric current pulses have been developed.

**Conclusions.** An automated system of measurement and calculation was developed, a software product was developed for automated measurement and calculation of power parameters of electric pulses.

**Keywords:** impulse; measurement; automated system; calculation of parameters.

Fig.: 6. Table: 1. References: 15.

*Александр Жартовский, Валерий Кравченко, Алексей Ларичкин, Жан Карягин*

## АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ И РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

**Актуальность темы исследования.** Импульсные технологии применяются в разнообразных технологических процессах обработки материалов [1–3], например, в упрочнении металлических поверхностей с помощью импульсного магнитного поля [4–7], модифицирования поверхности с помощью импульсного электрического тока [8], а также в экологических проектах [9].

**Постановка проблемы.** Для разработчиков технологических процессов важным является соблюдение параметров энергетических показателей импульсного электрического тока. В процессе разработки технологий решается вопрос о противоречии между возможностями технологического оборудования, измерениями и соблюдением необходимых параметров.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Публикации про автоматизированные системы для измерения и расчета энергетических показателей импульсного электрического тока ограничены по объему и направлению. Существующие подходы [10–12] к созданию оборудования не предлагают компьютеризированных методов учета и расчета показателей параметров импульсного электрических тока.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Поэтому разработки автоматизированных систем измерения энергетических показателей импульсного электрического тока для технологических процессов актуальны.

**Постановка задания.** Целью работы является разработка автоматизированной системы измерения и создания программного обеспечения для автоматизированного измерения энергетических показателей импульсов электрического тока.

Задачи работы предусматривают:

- разработку управляемого генератора импульсов электрического тока;

- разработку программного обеспечения для автоматизированного измерения и расчета параметров энергетических показателей импульсов электрического тока.

**Изложение основного материала.** Была разработана автоматизированная система измерения и создан программный продукт для автоматизированного измерения и расчета энергетических показателей импульсов электрического тока. Для этого разработана схема автоматизированной системы, управляемый генератор импульсов электрического тока и программное обеспечение для автоматизированного измерения и расчета энергетических показателей импульсов электрического тока.

**Выводы в соответствии со статьей.** Была разработана автоматизированная система измерения и расчета, создан программный продукт для автоматизированного измерения и расчета энергетических показателей импульсов электрического тока.

**Ключевые слова:** импульс; измерение; автоматизированная система; расчет параметров.

Рис.: 6. Табл.: 1. Библ.: 15.

**Жартовський Олександр Володимирович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри інформатики та інженерної графіки, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Жартовский Александр Владимирович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и инженерной графики, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Jartovsky Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics and Engineering Graphics, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** jaw7491@i.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3919-4941>

**Scopus Author ID:** 15059125500

**Кравченко Валерій Іванович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних технологій, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Кравченко Валерий Иванович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных информационных технологий, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Kravchenko Valeriy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Information Technology, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

**E-mail:** krwkl84@gmail.com

**Ларічкін Олексій Вікторович** – магістрант, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Ларичкин Алексей Викторович** – магістрант, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Larichkin Oleksii** – undergraduate, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

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

**Карягін Жан Геннадійович** – магістрант, Донбаська державна машинобудівна академія (вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84313, Україна).

**Карягин Жан Геннадиевич** – магістрант, Донбасская государственная машиностроительная академия (ул. Академическая, 72, г. Краматорск, 84313, Украина).

**Karyahin Zhan** – undergraduate, Donbas state machine-building Academy (72 Academic Str., 84313 Kramatorsk, Ukraine).

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

УДК 621.314.1

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-176-188

*Костянтин Тительмаєр, Олександр Гусев, Олександр Велігорський*

## ОГЛЯД НЕІЗОЛЬОВАНИХ ДВОНАПРАВЛЕНИХ ТОПОЛОГІЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ПОРТАТИВНИХ ЗАСТОСУВАНЬ НА БАЗІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку систем електроживлення на базі відновлювальних джерел висувають усе більші вимоги до ефективності перетворювачів, які в них використовуються. Тому є потреба в огляді наявних типів неізольованих перетворювачів для подальшого виявлення і застосування найбільш оптимальних.

**Постановка проблеми.** У процесі розроблення портативних систем живлення на базі відновлювальних джерел, розробникам доводиться вирішувати завдання побудови високоефективних двонаправлених перетворювачів постійної напруги для зв'язку загальної шини постійної напруги з накопичувачем енергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі та в базі IEEE Xplore, які стосуються двонаправлених перетворювачів постійної напруги.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Класифікація та огляд основних топологій неізольованих двонаправлених перетворювачів.

**Постановка завдання.** Провести огляд та аналіз особливостей роботи основних топологій неізольованих двонаправлених перетворювачів постійної напруги.

**Виклад основного матеріалу.** Показана структура типового портативного джерела живлення на базі фотоелектричних перетворювачів. Така спрощена класифікація двонаправлених перетворювачів. Проведено огляд основних топологій неізольованих двонаправлених перетворювачів постійної напруги, виділено їхні особливості та принципи роботи.

**Висновки відповідно до статті.** Результати огляду дозволяють обрати оптимальну топологію неізольованого двонаправленого перетворювача для портативних застосувань.

**Ключові слова:** *dc-dc* перетворювач; двонаправлений перетворювач; неізольований перетворювач; відновлювальні джерела електроенергії.

*Рис.: 5. Табл.: 1. Бібл.: 32.*

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку систем електроживлення на базі відновлювальних джерел висувають усе більші вимоги до ефективності перетворювачів, які в них використовуються. Тому є потреба в огляді наявних типів неізольованих перетворювачів для подальшого виявлення і застосування найбільш оптимальних.

**Постановка проблеми.** Портативні системи електроживлення на базі відновлювальних джерел електроенергії починають відігравати все більш значну роль у житті людей, особливо системи на базі фотоелектричних перетворювачів (ФЕП). Більшість таких систем побудовані за схемою, наведеною на рис. 1, і складається з ФЕП, системи стабілізації точки максимуму потужності (СТМП), двонаправленого перетворювача постійної напруги (ДППН) та акумуляторних батарей. На ефективність роботи системи значний вплив мають система СТМП та ДППН. У той час як перша пропускає струм лише в одному напрямку – від ФЕП до навантаження або до акумуляторних батарей, ДППН може як живити навантаження від зарядженого акумулятора, так і заряджати акумулятор від ФЕП, тоді, коли живлення навантаження не потрібне. Крім того, у багатьох випадках рівні струмів зарядки та розрядки будуть сильно відрізнятись (у реальних системах – до 10 разів і більше), що ускладнює розробку ДППН з високою ефективністю у цих режимах роботи. Зазначені вище особливості – пропускання різних за величиною струмів у двох напрямках – призводять до того, що вплив ДППН на загальну ефективність системи буде суттєво більшим, а відповідно, питання вибору оптимальної топології двонаправленого перетворювача напруги для портативної системи живлення є дуже важливим.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Нині значна кількість досліджень вітчизняних та закордонних учених присвячені двонаправленим перетворювачам постійної напруги [1-3; 14]. Зазвичай ці роботи стосуються особливостей роботи та режимів конкретних топологій ДППН, і не охоплюють комплексног аналізу та порівняння окремих топологій між собою.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Таким чином, актуальною є задача формування класифікаційних ознак та побудова чіткої класифікації та огляду основних особливостей неізольованих двонаправлених перетворювачів електроенергії для використання в портативних системах електроживлення на базі фотоелектричних перетворювачів.



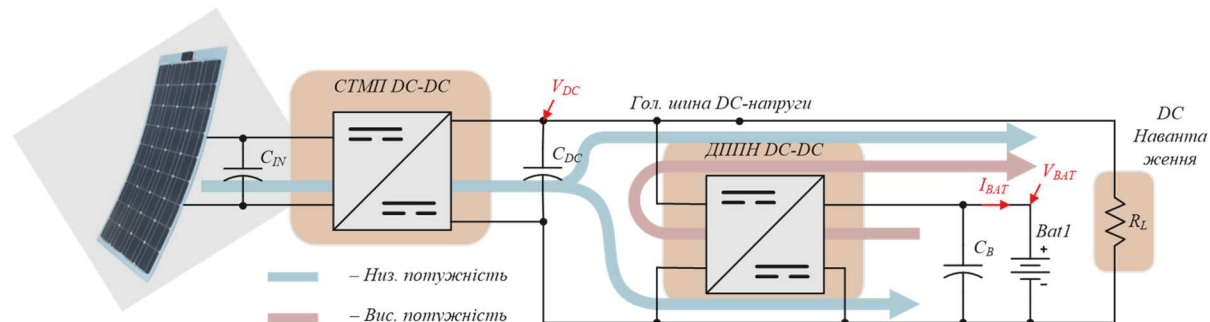


Рис. 1. Структурна схема портативного джерела живлення на базі гнучких ФЕП

**Постановка завдання (цілей статті).** Мета статті полягає в огляді та аналізі основних топологій неізольованих двонаправлених перетворювачів для побудови високоєфективних портативних систем електроживлення на базі відновлювальних джерел електричної енергії.

**Виклад основного матеріалу.** Структура типової портативної системи живлення на основі відновлювальних джерел енергії показана на рис. 1. Зображена система являє собою систему на базі ФЕП та не передбачає інтеграції до мережі. Проте коливання генерації електричної енергії у зв'язку зі зміною погодних умов і різких змін споживання енергії навантаженням роблять таку систему непридатною для автономної роботи як єдиного джерела живлення. Для вирішення цієї проблеми до складу портативної системи завжди входить елемент накопичення та зберігання енергії (акумуляторна батарея), що дозволяє компенсувати мінливість генерації та забезпечує стабільну вихідну потужність. Найбільш поширеними та економічно вигідними пристроями зберігання енергії в діапазонах малої та середньої потужності є різні типи Li-іон акумуляторів або суперконденсатори.

Основним або допоміжним джерелом електричної енергії в багатьох портативних джерелах живлення, є фотоелектричні перетворювачі, які можуть бути жорсткими, гнучкими або напівгнучкими [4]. Враховуючи нелінійність вольт-амперної характеристики ФЕП, для забезпечення оптимального відбору потужності від неї, до складу системи живлення входить перетворювач постійної напруги зі слідкуванням за точкою максимальної потужності (ТМП). Його завданням є відбір максимальної потужності від ФЕП за змінних умов (зміна освітленості та температури ФЕП, які впливають на положення точки максимуму потужності) та формування стабільної вихідної напруги. Цей елемент є важливим для автономної або портативної системи, оскільки саме він визначає, наскільки ефективно буде відбуватися акумуляція згенерованої енергії. Ідеальний перетворювач СТМП повинен мати ККД близький до 100 %, точно слідкувати за точкою максимальної потужності в разі зміни зовнішніх умов, і при цьому мати малі розміри, просту систему керування та низьку вартість, оскільки в деяких конфігураціях систем перетворювач СТМП встановлюють на кожен панель.

Двонаправлений перетворювач постійної напруги, як було зазначено вище, є ключовим елементом портативних систем живлення на базі фотоелектричних перетворювачів. Для більшості наявних ДППН як джерело використовується джерело струму або напруги, що підключається з одного боку [1-3; 5; 6]. На основі розміщення допоміжного накопичувача енергії (акумуляторних батарей), усі ДППН можна поділити на понижуючі та підвищуючі. У понижуючому типі накопичувач енергії розміщуються на стороні високої напруги, а у підвищуючому типі – на стороні низької напруги. Для того щоб реалізувати двонаправлений потік енергії в ДППН, перемикаючий елемент повинен проводити струм в обох напрямках. Це, здебільшого, реалізується за допомогою однонаправленого силового напівпровідникового перемикача, такого як MOSFET або

IGBT паралельно з діодом (або вбудованим діодом), оскільки нині силові ключі, що здатні проводити струм в обох напрямках, недоступні.

Залежно від застосування, різні типи перетворювачів можуть використовуватись як ДППН. Зазвичай виділяють два основних типи ДППН, а саме неізолювані (НДППН) та ізолювані (ІДППН) (рис. 2).

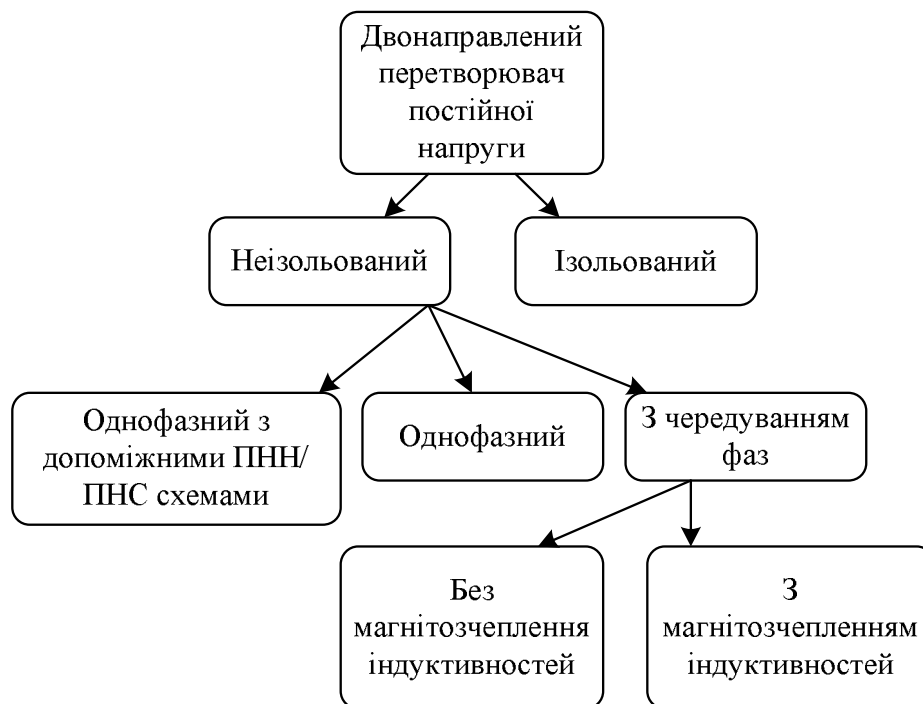


Рис. 2. Спрощена класифікація двонаправлених *dc-dc* перетворювачів

У безтрансформаторних неізолюваних системах перетворення енергії переважно використовуються підвищуючі та знижуючі *dc-dc* перетворювачі. Система на основі високочастотного трансформатора є розумним рішенням для отримання розв'язки між джерелом і навантаженням. Ізоляція є обов'язковою, коли потрібно мати дуже високий коефіцієнт підвищення або пониження, що важко досягти без використання трансформатора. Але для підвищення ефективності системи, зниження розмірів, ваги і вартості, неізолюваний тип є набагато привабливішим. Отже, у системах невеликої потужності або системах живлення космічних апаратів [4–8], де вага і розмір є критичними, безтрансформаторний тип є кращим рішенням. Зважаючи на все вищезазначене, для нашого застосування більше підходять неізолювані перетворювачі, на яких і буде зосереджена основна увага надалі.

Як видно з класифікації, наведеної на рис. 2, основними типами неізолюваних перетворювачів є однофазні, однофазні з перемиканням при нульовій напрузі (ПНН) або при нульовому струмі (ПНС), і схеми з чергуванням фаз. Варто звернути увагу, що не тільки другий тип використовує переваги м'якого перемикання або резонансних методів, для того щоб збільшити частоту комутації і досягти менших розмірів і ваги. Замість допоміжної резонансної схеми, однофазні та перетворювачі з чергуванням фаз використовують різні частоти модуляції і методи комутації, паразитні параметри компонентів як резонансні елементи, таких, наприклад, як вихідна ємність  $C_{oss}$  транзистора.

Безперервність струму в батареї також є важливим критерієм класифікації, особливо для використання у скоалі фотоелектричних систем, оскільки вона впливає на термін служби батареї. Таким чином, можна вибрати попереднє рішення, яке підходить для виконання конкретних завдань. Топології, які забезпечують безперервний струм від батареї, виділені фоном на рис. 3.

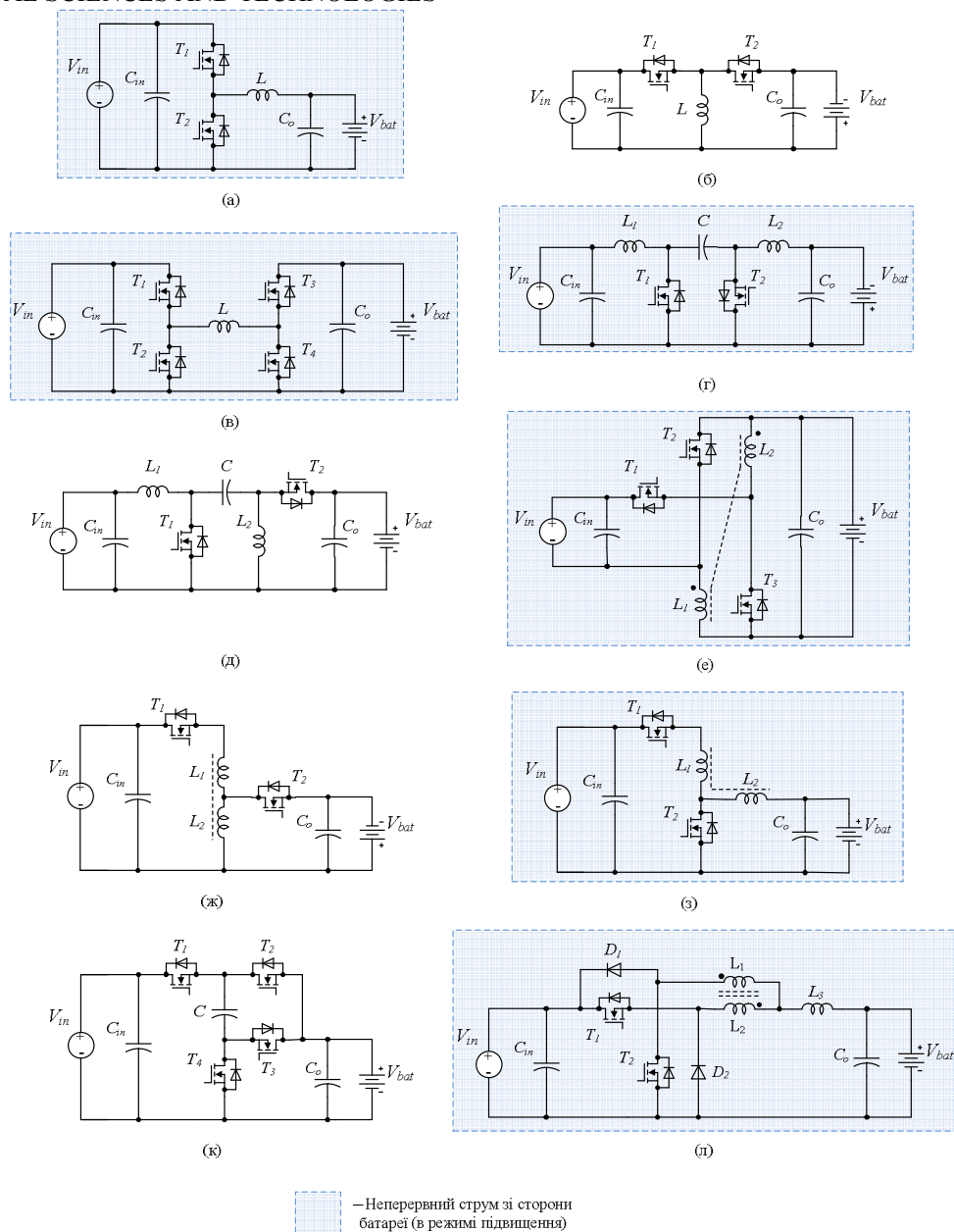


Рис. 3. Основні типи однофазних НДППН топологій

**Однофазні НДППН.** Одна з найбільш поширених – *неізолювана напівмостова топологія ДППН* – показана на рис. 3, а, загалом є поєднанням підвищуючого перетворювача разом із понижуючим перетворювачем, з’єднаних антипаралельно [10; 11]. Такий перетворювач може працювати як у понижуючому, так і підвищуючому синхронному режимі для передачі потужності в обох напрямках. Двонаправлена робота схеми може бути пояснена таким чином. Під час понижуючого (прямого) режиму,  $T1$  працює з необхідною робочою шпаруватістю, а ключ  $T2$  завжди вимкнений, у той час як його вбудований діод проводить струм. Аналогічно в режимі підвищення (зворотному),  $T2$  працює, а  $T1$  завжди вимкнений.

Друга двонаправлена топологія [10] являє собою *інвертуючий (неізолюваний зворотногоходовий) перетворювач* (рис. 3, б). У режимі прямої роботи  $T1$  працює з необхідною шпаруватістю, у той час як ключ  $T2$  підтримується весь час вимкнутим. Аналогічно, у зворотному режимі роботи, ключ  $T2$  працює з необхідною шпаруватістю, в той час як транзистор  $T1$  завжди вимкнений. У порівнянні з першою схемою перетворювача

ча, в якому вихідна напруга може бути в діапазоні  $0 \dots V_{in}$  в режимі понижуючого і  $V_{bat} \dots \infty$  (ідеальний перетворювач), напруга в двонаправленому інвертуючому перетворювачі може бути  $0 \dots \infty$  в обох напрямках (ідеальний перетворювач). Варто зазначити, що вихідна напруга має протилежну полярність, ніж вхідна, що може бути недопустимо у багатьох випадках. Ця проблема може бути вирішена шляхом додавання додаткових транзисторів у цій конфігурації, як показано на рис. 3, в.

Третя топологія (рис. 3, в), може бути отримана шляхом *каскадного включення понижуючого перетворювача з підвищуючим перетворювачем* [12; 13]. Ця топологія працює в усіх квадрантах (так званий 4-квадрантний перетворювач). Це означає, що вона здатна понижувати і підвищувати напругу в обох напрямках. Каскадні ДППН є найбільш гнучкою топологією. Але вона має кілька недоліків, зокрема збільшення кількості транзисторів, і, як наслідок, більш складна система й алгоритм керування, більш високі втрати на перемикання, викликані зворотним відновленням транзисторних діодів.

*ДППН топології Чука* [14; 15] показана на рис. 3, г, є похідною від звичайного однопісного двонаправленого перетворювача Чука шляхом заміни основного діода на транзистор. Такий перетворювач має низький рівень пульсацій вхідного і вихідного струмів, тому двонаправлений перетворювач Чука є гарним вибором для таких застосувань, як вирівнювання заряду акумуляторів, схем заряду суперконденсаторів та ін. Індуктивності  $L1$  і  $L2$  можуть бути магнітозчеплені для зменшення пульсацій вхідного та вихідного струмів. У зв'язку з тим, що перетворювач Чука по суті є послідовним з'єднанням підвищуючої і понижуючої топології з накопичувальним конденсатором  $C$ , то вихідна напруга може бути вище або нижче, ніж вхідна, в обох напрямках. У прямому режимі роботи  $T1$  керується, а  $T2$  вимкнений і внутрішній діод  $T2$  працює як основний діод. Аналогічно, у зворотному режимі роботи  $T2$  керується, а  $T1$  вимкнений і внутрішній діод  $T1$  працює як основний діод.

Основна електрична схема *двонаправленого SEPIC/Zeta перетворювача* постійної напруги, показаного на рис. 3, д, працює як звичайний SEPIC перетворювач для прямого потоку потужності, і як Zeta перетворювач для зворотного потоку потужності [16; 17]. Такий перетворювач також може мати вище або нижче значення вихідної напруги порівнюючи з вхідною в обох напрямках, однак, полярність шин постійної напруги в ньому однакова. Під час прямого потоку потужності, SEPIC перетворювач діє як понижуючий перетворювач,  $T1$  діє як керуючий ключ, а  $T2$  вимкнений протягом усього періоду. Зворотний потік потужності розглядається як режим роботи Zeta перетворювача, який є режимом підвищення.  $T2$  діє як керуючий силовий ключ, а  $T1$  вимкнений протягом цього періоду. Індуктивності  $L1$  і  $L2$  можуть бути магнітозчеплені, щоб зменшити вихідні пульсації напруги і напругу на ключах.

*Модифікований ДППН* [18; 19] показаний на рис. 3, е. Цей перетворювач використовує магнітозчеплені індуктивності з однаковою кількістю витків у первинній та вторинній сторонах. Запропонований перетворювач має такі переваги в порівнянні зі звичайним напівмостовим двонаправленим перетворювачем: вищий коефіцієнт підвищення та пониження, більш низьке середнє значення імпульсного струму при тих самих електричних параметрах. У режимі підвищення, ШІМ сигнал використовується для одночасного керування транзисторами  $T2$  і  $T3$ . Перемикач  $T1$  є синхронним випрямлячем. У понижуючому режимі, ШІМ сигнал використовується для керування перемиканням транзистора  $T1$ , в той час як ключі  $T2$  і  $T3$  є синхронними випрямлячами.

Рисунки 3, ж та 3, з показують *ДППН із секційними індуктивностями* [20; 21]. Це, по суті, традиційні топології перетворювачів (рис. 3, а та 3, б) доповнені додатковою індуктивністю, яка магнітозчеплена з основною індуктивністю. Завдяки магнітному зв'язку обидві обмотки знаходяться на тому ж осерді, і тому не потрібно ніяких додаткових магнітних елементів. У порівнянні зі звичайними топологіями, використання се-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

кційної індуктивності призводить до більш високого коефіцієнта перетворення, що дає змогу уникнути великих значень шпаруватості керуючого сигналу транзистора і високих пікових струмів в активних і пасивних компонентах, що дозволяє зменшити їхні розміри. Варто звернути увагу, що полярність шини постійної напруги виходу перетворювача (рис. 3, *ж*) є протилежною відносно загальної землі (так само, як і для перетворювача на рис. 3, *б*), що може бути не допустимо в багатьох випадках.

*ДППН на конденсаторах, що перемикаються* [22], показано на рис. 3, *к*. Цей тип топології в основному використовується, коли потрібно реалізувати перетворювач постійної напруги за допомогою технології інтегральної схеми (ІС). Оскільки для цих перетворювачів не потрібні магнітні елементи, можливості виготовлення на їх основі ІС є багатообіцяючими. Починаючи від ідеї використання ДППН на конденсаторах, що перемикаються, при проектуванні фільтрів було запропоновано багато методів експлуатації цих топологій для перетворення енергії. Кожен конденсатор у перетворювачі зазвичай проходить через фазу заряду від джерела живлення і/або іншого конденсатора. Проте ДППН на конденсаторах, що перемикаються, характеризуються:

- слабкою здатністю до регулювання вихідної напруги;
- їх коефіцієнт перетворення напруги визначається топологією схеми;
- високими пульсаціями вхідного струму, який призводить до електромагнітних завад (ЕМЗ).

Більшість із цих проблем можуть бути вирішені шляхом додавання схеми керування струму і схеми керування напругою, яка регулюватиме зарядну траєкторію конденсатора. Однак це збільшить складність і вартість перетворювача.

*НДППН із зустрічним магнітозв'язком індуктивностей* [23] показана на рис. 3, *л*. Розділення струму на два шляхи за допомогою діодів  $D1$  та  $D2$  запобігає проходженню струму через вбудовані діоди MOSFET транзисторів. Таким чином, вирішується проблема зворотного відновлення вбудованого діода MOSFET транзистора. У режимі пониження (прямому)  $T1$  перемикається з необхідною шпаруватістю,  $T2$  вимкнений і  $D1$  працює як основний діод. Подібним чином, у режимі підвищення (зворотному),  $T2$  керується з необхідною шпаруватістю,  $T1$  вимкнений і  $D2$  працює як основний діод.

***Однофазні НДППН із допоміжними ПНН/ПНС схемами.*** Для всіх перетворювачів ключовими критеріями є високий коефіцієнт корисної дії, надійність і простота керування. Через обмежену ефективність схем з жорсткою комутацією, все частіше використовуються так звані схеми м'якої комутації напівпровідників, які й застосовуються до розглянутих вище НДППН [24; 25]. Методика м'якої комутації забезпечує високу ефективність за рахунок зниження втрат при перемиканні, використання менших напівпровідників і меншу масу перетворювача за рахунок менших радіаторів охолодження. Проте це робить схеми більш складними, а керування і налаштування важчим. На рис. 4 показано основні типи напівмостових однофазних двонаправлених перетворювачів із допоміжними схемами перемикавання при нульовій напрузі та перемиканні при нульовому струмі. Інші типи перетворювачів, такі як перетворювач Чука, перетворювач SEPIC/Zeta і перетворювач на конденсаторах, що перемикаються, також можуть мати резонансні контури і схеми м'якої комутації.

***Схеми НДППН із чергуванням фаз.*** Останніми роками було встановлено, що концепція чергування фаз або в більш загальному плані, синхронізованого запаралелювання каскадів з відносним фазовим зсувом ( $360^\circ/n$ ), може бути успішно застосована на практиці.

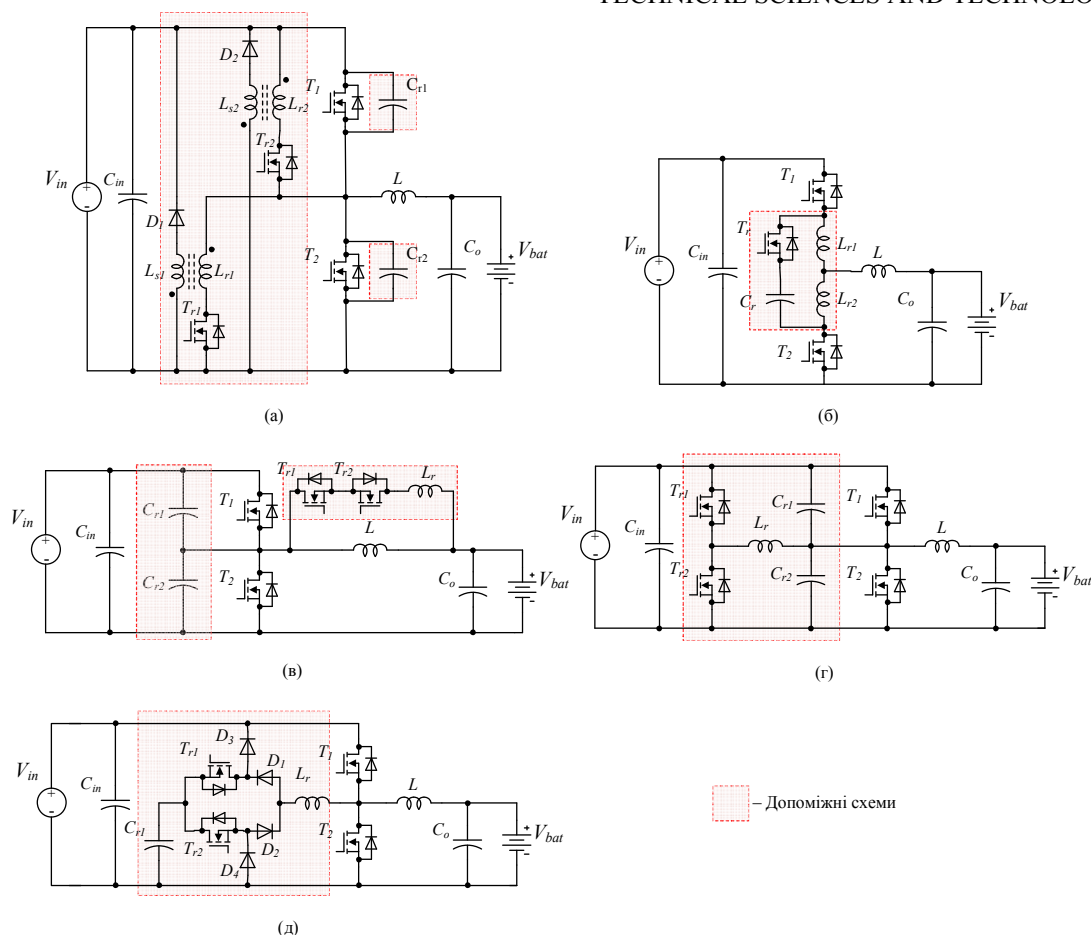


Рис. 4. Основні схеми напівмостових однофазних НДППН із допоміжними схемами

Найбільш відомим прикладом застосування є схеми живлення мікропроцесорів, які здебільшого називають модулями регуляторів напруги (МРН) [26]. Однак метод чергування фаз також добре підходить для двонаправлених перетворювачів. Топологія силових перетворювачів із чергуванням має певні переваги: розщеплення струму між фазами ( $I_o/n$ ), ефект зниження пульсацій струму, більш високий ККД, більш висока питома потужність. Однією з найбільш цікавих переваг перетворювача з чергуванням фаз є забезпечення високої ефективності у широкому діапазоні потужностей (від декількох відсотків до номінальної потужності перетворювача). Крім того, шляхом поділу струму на кілька фаз, значно зменшуються втрати провідності ( $I^2R$ ).

На рис. 5 показані основні двофазні топології з чередуванням фаз. *Напівмостова топологія* (рис. 5, а) є найбільш поширеною [27; 28]. На рис. 5, б показано *двофазну топологію з конденсатором накачки*, яка має більш високий коефіцієнт перетворення, ніж звичайна напівмостова топологія [29]. Крім того, щоб отримати ще більший коефіцієнт перетворення, може бути застосована *плаваюча топологія з чергуванням фаз* [30]. Вона складається з двох плаваючих гілок, позитивної і негативної, як показано на рис. 5, в.

Така конфігурація дозволяє отримати високий коефіцієнт підвищення напруги, високий коефіцієнт корисної дії та низькі вхідні пульсації струму, менші об'єми індуктивностей і конденсаторів, що робить його більш рентабельним, ніж звичайні ДППН. Силові індуктивності перетворювача з чергуванням фаз також можуть бути магнітозчеплені однонаправлено або зустрічно. Зворотне магнітозчеплення зменшує пульсації струму у фазі та збільшує час перехідного процесу [31]. Слід зазначити, що кількість фаз може бути будь-яким від 2-4 до 16, або навіть 36 [32].

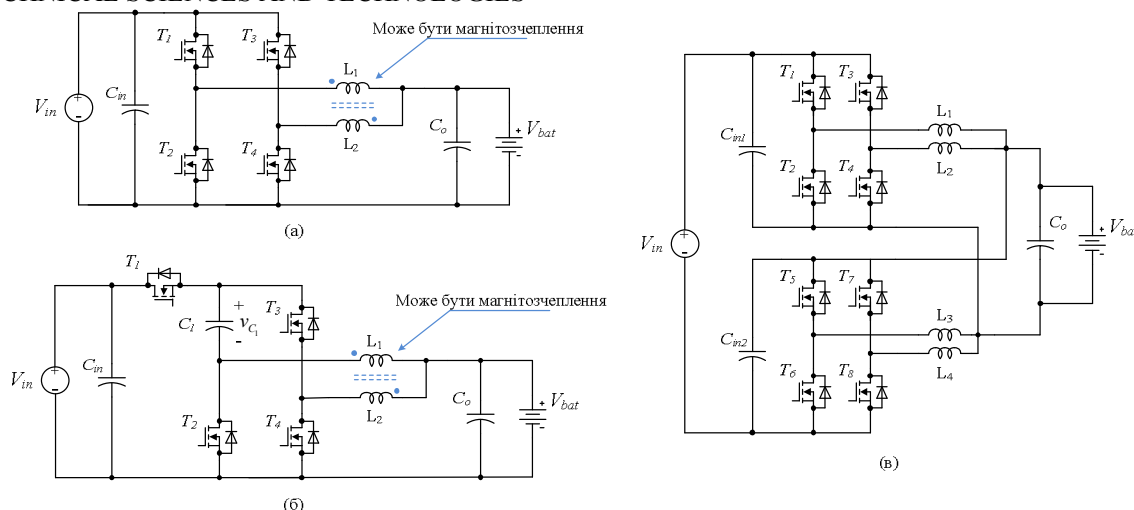


Рис. 5. Основні схеми НДППН із чередуванням фаз

Основні параметри розглянутих схем зібрані в таблицю, куди входять основні співвідношення між вихідною і вхідною напругою, формули для розрахунку пульсацій струму, кількість пасивних компонентів.

Таблиця

Порівняння основних топологій НДППН

Топологія	Критерій					
	$V_{bat}/V_{in}$	$V_{in}/V_{bat}$	$\Delta I_o$	$nT_i$	$n$ пасив компон.	Індукт.
Рис. 3, а	$D$	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{V_{bat}(1-D)}{Lf_{sw}}$	2	3	1
Рис. 3, б	$-\frac{D}{1-D}$	$-\frac{D}{1-D}$	$-\frac{V_{bat}(1-D)}{Lf_{sw}}$	2	3	1
Рис. 3, в	$D$	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{V_{bat}(1-D)}{Lf_{sw}}$	4	3	1
Рис. 3, г	$-\frac{D}{1-D}$	$-\frac{D}{1-D}$	$-\frac{V_{in}D}{L_2f_{sw}}$	2	5	2 з магнітозч. або без
Рис. 3, д	$\frac{D}{1-D}$	$\frac{D}{1-D}$	$\frac{V_{in}D}{L_1f_{sw}}$	2	5	2 з магнітозч. або без
Рис. 3, е	$\frac{D}{2-D}$	$\frac{1+D}{1-D}$	$\frac{V_oD}{(1+k)Lf_{sw}}$	3	4	2 з магнітозч.
Рис. 3, ж	$\frac{D}{D+n(1-D)}$ $n = 1 + \frac{N_{in}}{N_{bat}}$	$\frac{1-D+nD}{1-D}$	$\frac{n^2V_{bat}(1-D)}{Lf_{sw}}$	2	3	1 розділ.
Рис. 3, к	0.5	2	$G_{sw}(V_{in}-V_{bat})$	4	3	0
Рис. 5, а	$D$	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{V_{bat}(1-2D)}{Lf_{sw}}$	$2N$	$2+N$	$N$ з магнітозч. або без
Рис. 5, б	$\frac{D}{2}$	$\frac{2}{1-D}$	$\frac{2V_{bat}(0.5-D)}{Lf_{sw}}$	$2N$	$2N+1$	$N$ з магнітозч. або без

**Висновки відповідно до статті.** Задачам розробки та аналізу роботи ДППН приділяється все більша увага серед розробників та науковців, враховуючи збільшення популярності відновлювальних джерел електроенергії. Вони забезпечують обмін потужністю між загальною шиною постійної напруги та елементами накопичення енергії. Незважаючи на різноманітність схем, ДППН можуть бути поділені на два основних сімейства, а саме ізольовані та неізольовані перетворювачі. У цій роботі докладно проаналізовано та класифіковано відомі нині ізольовані перетворювачі постійної напруги, які доцільно використовувати у складі портативних систем живлення. Були розглянуті основні принципи роботи, переваги та недоліки кожної з основних топологій та зведені в таблиці. За результатами представленого аналізу можна зробити висновок, що топології з чергуванням фаз є найбільш перспективними для використання у складі портативних систем, оскільки вони мають високу ефективність та надійність, низькі пульсації вхідного струму та менші габарити пасивних елементів.

### Список використаних джерел

1. Chiu H.-J., Lin L.-W. A. (2006). Bidirectional DC–DC Converter for Fuel Cell Electric Vehicle Driving System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21 (4), 950–958.
2. Chen, G., Xu, D., Lee, Y.-S. (2002). *A family of soft-switching phase-shift bidirectional DC-DC converters: synthesis, analysis, and experiment*. Proceedings of the Power Conversion Conference (PCC 2002), pp. 1–6.
3. Fan, H., Xu, D. (2004). *A family of PWM plus phase-shift bidirectional DC-DC converters*. IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC 2004), pp. 1–8
4. Veligorskyi O., Khomenko M., Chakirov R., Vagapov Y. (2018) *Performance analysis of a wearable photovoltaic system*. IEEE International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems (IESES), pp. 376–381.
5. Zhang J., Lai J.-S., Yu W. (2007). High-Power Density Design of a Soft-Switching High-Power Bidirectional dc–dc Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22 (4), 1145–1153.
6. Zhang J., Lai J.-S., Yu W. (2008). *Bidirectional DC-DC converter modeling and unified controller with digital implementation*. 23rd IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2008), pp. 1–8.
7. Matsuo H., Lin W., Kurokawa F., Shigemizu T. (2004). Characteristics of the multiple-input DC-DC converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51 (3), 625–631.
8. Kim I.-D., Paeng S.-H., Ahn J.-W., Nho E.-C., Ko J.-S. (2007). *New Bidirectional ZVS PWM Sepic/Zeta DC-DC Converter*. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 1–8.
9. Urciuoli D.P., Tipton C.W. (2006). *Development of a 90 kW bi-directional DC-DC converter for power dense applications*. 21st Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2006), pp. 1–6.
10. Caricchi F., Crescimbin F., Noia G., Pirolo D. (1994). *Experimental study of a bidirectional DC-DC converter for the DC link voltage control and the regenerative braking in PM motor drives devoted to electrical vehicles*. 9<sup>th</sup> Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 1994), pp. 381–386.
11. Kang T., Kim C., Suh Y., Park H. (2012). *A design and control of bi-directional non-isolated DC-DC converter for rapid electric vehicle charging system*. 27<sup>th</sup> Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2012), pp. 14–21.
12. Tank S.B., Manavar K., Adroja N. (2015). *Non-Isolated Bi-directional DC-DC Converters for Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charge Station Application*. Emerging Trends in Computer & Electrical Engineering (ETCEE 2015), pp. 1–9.
13. Waffler S., Kolar J.W. (2010). *Comparative Evaluation of Soft-Switching Concepts for Bi-directional Buck+Boost Dc-Dc Converters*. The 2010 International Power Electronics Conference, pp. 1856–1865.
14. Dawood N.B. (2016). Review of Different DC to DC Converters Based for Renewable Energy Applications. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3 (3), 46–50.
15. Mohammadi M.R., Farzanehfard H. (2011). *A new bidirectional ZVS-PWM Cuk converter with active clamp*. 19<sup>th</sup> Iranian Conference on Electrical Engineering, pp. 1–6.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

16. Denny D.C., Shahin M. (2015). *Analysis of bidirectional SEPIC/Zeta converter with coupled inductor*. International Conference on Advancements in Power and Energy (TAP Energy 2015), pp. 103–108.
17. Kim I.-D., Lee Y.-H., Min B.-H., Nho E.-C. (2007). *Design of bidirectional PWM Sepic/Zeta DC-DC converter*. 7<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics, pp. 614–619.
18. Gurrala S.R., Lakshmi K.V. (2010). A Novel Bidirectional DC-DC Converter with Battery Protection. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2(6), 4261–4265.
19. Yang L.-S., Liang T.-J. (2013). Analysis and Implementation of a Novel Bidirectional DC–DC Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(1), 422–434.
20. Ye Y., Cheng K.W., Liu J., Xu C. (2013). *Bidirectional tapped-inductor-based buck-boost convertor and its circuit application*. 5<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA 2013), pp. 1–7.
21. Gitau M.N., Mwaniki F.M., Hofsjager I.W. (2013). Analysis and Design of a Single-Phase Tapped-Coupled-Inductor Boost DC-DC Converter. *Journal of Power Electronics*, 13 (4), 636–646.
22. Chung H.S., Ioinovici A., Cheung W.-L. (2003). Generalized structure of bi-directional switched-capacitor DC/DC converters. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 50 (6), 743–753.
23. Wu H., Lu J., Shi W., Xing Y. (2012). Nonisolated Bidirectional DC–DC Converters With Negative-Coupled Inductor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27 (5), 2231–223.
24. Das P., Mousavi S.A., Moschopoulos G. (2010). Analysis and Design of a Nonisolated Bidirectional ZVS-PWM DC–DC Converter With Coupled Inductors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25 (10), 2630–2641.
25. Jung D.-Y., Hwang S.-H., Ji Y.-H., Lee J.-H. (2012). Soft-Switching Bidirectional DC/DC Converter with a LC Series Resonant Circuit. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28(4), 1680–1690.
26. Garinto D. (2007). *Multi-interleaved zero-ripple VRM to power future microprocessors*. European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1–6.
27. Yang Y., Ma J., Ho C.N., Zou Y. (2015). A New Coupled-Inductor Structure for Interleaving Bidirectional DC-DC Converters. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 3 (3), 841–849.
28. Huang X., Lee F.C., Li Q., Du W. (2015). High-Frequency High-Efficiency GaN-Based Interleaved CRM Bidirectional Buck/Boost Converter with Inverse Coupled Inductor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31 (6), 4343–4352.
29. Lai C.-M. (2016). Development of a Novel Bidirectional DC/DC Converter Topology with High Voltage Conversion Ratio for Vehicles and DC-Microgrids. *Energies*, 9, 1–25.
30. Simoes M.G., Lute J.D., Alsaleem A.N., Brandao D.I., Pomolio J.A. (2015). *Bidirectional Floating Interleaved Buck-Boost DC-DC Converter Applied to Residential PV Power Systems*. Clemon University Power System Conference (PSC 2015), pp. 1–8.
31. Li J., Sullivan C. R., Schultz A. (2002). *Coupled-inductor design optimization for fast-response low-voltage DC-DC converters*. 17<sup>th</sup> Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2002), pp. 1–6.
32. Garcia O., Zumel P., Castro A., Cobos A. (2006). Automotive DC-DC bidirectional converter made with many interleaved buck stages. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21 (3), 578–586.

### References

1. Chiu H.-J., Lin L.-W. A. (2006). Bidirectional DC–DC Converter for Fuel Cell Electric Vehicle Driving System. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21 (4), 950–958.
2. Chen, G., Xu, D., Lee, Y.-S. (2002). *A family of soft-switching phase-shift bidirectional DC-DC converters: synthesis, analysis, and experiment*. Proceedings of the Power Conversion Conference (PCC 2002), pp. 1–6.
3. Fan, H., Xu, D. (2004). *A family of PWM plus phase-shift bidirectional DC-DC converters*. IEEE 35<sup>th</sup> Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC 2004), pp. 1–8
4. Veligorskyi O., Khomenko M., Chakirov R., Vagapov Y. (2018) *Performance analysis of a wearable photovoltaic system*. IEEE International Conference on Industrial Electronics for Sustainable Energy Systems (IESES), pp. 376–381.
5. Zhang J., Lai J.-S., Yu W. (2007). High-Power Density Design of a Soft-Switching High-Power Bidirectional dc–dc Converter. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 22 (4), 1145–1153.

6. Zhang J., Lai J.-S., Yu W. (2008). *Bidirectional DC-DC converter modeling and unified controller with digital implementation*. 23rd IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2008), pp. 1–8.
7. Matsuo H., Lin W., Kurokawa F., Shigemizu T. (2004). Characteristics of the multiple-input DC-DC converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 51 (3), 625–631.
8. Kim I.-D., Paeng S.-H., Ahn J.-W., Nho E.-C., Ko J.-S. (2007). *New Bidirectional ZVS PWM Sepic/Zeta DC-DC Converter*. IEEE International Symposium on Industrial Electronics, pp. 1–8.
9. Urciuoli D.P., Tipton C.W. (2006). *Development of a 90 kW bi-directional DC-DC converter for power dense applications*. 21st Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2006), pp. 1–6.
10. Caricchi F., Crescimbeni F., Noia G., Pirolo D. (1994). *Experimental study of a bidirectional DC-DC converter for the DC link voltage control and the regenerative braking in PM motor drives devoted to electrical vehicles*. 9<sup>th</sup> Annual Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 1994), pp. 381–386.
11. Kang T., Kim C., Suh Y., Park H. (2012). *A design and control of bi-directional non-isolated DC-DC converter for rapid electric vehicle charging system*. 27<sup>th</sup> Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2012), pp. 14–21.
12. Tank S.B., Manavar K., Adroja N. (2015). *Non-Isolated Bi-directional DC-DC Converters for Plug-In Hybrid Electric Vehicle Charge Station Application*. Emerging Trends in Computer & Electrical Engineering (ETCEE 2015), pp. 1–9.
13. Waffler S., Kolar J.W. (2010). *Comparative Evaluation of Soft-Switching Concepts for Bi-directional Buck+Boost Dc-Dc Converters*. The 2010 International Power Electronics Conference, pp. 1856–1865.
14. Dawood N.B. (2016). Review of Different DC to DC Converters Based for Renewable Energy Applications. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 3 (3), 46–50.
15. Mohammadi M.R., Farzanehfard H. (2011). *A new bidirectional ZVS-PWM Cuk converter with active clamp*. 19<sup>th</sup> Iranian Conference on Electrical Engineering, pp. 1–6.
16. Denny D.C., Shahin M. (2015). *Analysis of bidirectional SEPIC/Zeta converter with coupled inductor*. International Conference on Advancements in Power and Energy (TAP Energy 2015), pp. 103–108.
17. Kim I.-D., Lee Y.-H., Min B.-H., Nho E.-C. (2007). *Design of bidirectional PWM Sepic/Zeta DC-DC converter*. 7<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics, pp. 614–619.
18. Gurralla S.R., Lakshmi K.V. (2010). A Novel Bidirectional DC-DC Converter with Battery Protection. *International Journal of Modern Engineering Research*, 2 (6), 4261–4265.
19. Yang L.-S., Liang T.-J. (2013). Analysis and Implementation of a Novel Bidirectional DC–DC Converter. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59 (1), 422–434.
20. Ye Y., Cheng K.W., Liu J., Xu C. (2013). *Bidirectional tapped-inductor-based buck-boost convertor and its circuit application*. 5<sup>th</sup> International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA 2013), pp. 1–7.
21. Gitau M.N., Mwaniki F.M., Hofsajer I.W. (2013). Analysis and Design of a Single-Phase Tapped-Coupled-Inductor Boost DC-DC Converter. *Journal of Power Electronics*, 13 (4), 636–646.
22. Chung H.S., Ioinovici A., Cheung W.-L. (2003). Generalized structure of bi-directional switched-capacitor DC/DC converters. *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, 50 (6), 743–753.
23. Wu H., Lu J., Shi W., Xing Y. (2012). Nonisolated Bidirectional DC–DC Converters With Negative-Coupled Inductor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27 (5), 2231–223.
24. Das P., Mousavi S.A., Moschopoulos G. (2010). Analysis and Design of a Nonisolated Bidirectional ZVS-PWM DC–DC Converter With Coupled Inductors. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25 (10), 2630–2641.
25. Jung D.-Y., Hwang S.-H., Ji Y.-H., Lee J.-H. (2012). Soft-Switching Bidirectional DC/DC Converter with a LC Series Resonant Circuit. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 28 (4), 1680–1690.
26. Garinto D. (2007). *Multi-interleaved zero-ripple VRM to power future microprocessors*. European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1–6.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

27. Yang Y., Ma J., Ho C.N., Zou Y. (2015). A New Coupled-Inductor Structure for Interleaving Bidirectional DC-DC Converters. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 3 (3), 841–849.

28. Huang X., Lee F.C., Li Q., Du W. (2015). High-Frequency High-Efficiency GaN-Based Interleaved CRM Bidirectional Buck/Boost Converter with Inverse Coupled Inductor. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31 (6), 4343–4352.

29. Lai C.-M. (2016). Development of a Novel Bidirectional DC/DC Converter Topology with High Voltage Conversion Ratio for Vehicles and DC-Microgrids. *Energies*, 9, 1–25.

30. Simoes M.G., Lute J.D., Alsaleem A.N., Brandao D.I., Pomolio J.A. (2015). *Bidirectional Floating Interleaved Buck-Boost DC-DC Converter Applied to Residential PV Power Systems*. Clemon University Power System Conference (PSC 2015), pp. 1–8.

31. Li J., Sullivan C. R., Schultz A. (2002). *Coupled-inductor design optimization for fast-response low-voltage DC-DC converters*. 17<sup>th</sup> Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC 2002), pp. 1–6.

32. Garcia O., Zumel P., Castro A., Cobos A. (2006). Automotive DC-DC bidirectional converter made with many interleaved buck stages. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 21 (3), 578–586.

UDC 621.314.1

*Kostiantyn Tytelmaier, Oleksandr Husev, Oleksandr Veligorskyi*

### REVIEW OF NON-ISOLATED BIDIRECTIONAL CONVERTERS TOPOLOGIES FOR PORTABLE APPLICATION BASED ON RENEWABLE ENERGY SOURCES

**Urgency of the research.** Modern tendencies in the development of power supply systems based on renewable energy sources impose ever-increasing demands on the efficiency of the converters that are used in them. Therefore, there is a need for an overview of the existing types of non-isolated converters for further detection and application of the most optimal.

**Target setting.** In the process of development of portable power systems based on renewable energy sources, developers have to solve the problem of building high-efficiency bidirectional dc-dc converters, for power interface between dc-link and energy storage.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access and IEEE Xplore publications related to bidirectional dc-dc converters were reviewed.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Classification and the review of the main topologies of non-isolated bidirectional converters.

**The research objective.** Make a review and analysis of the features of the work of main non-isolated bidirectional topologies.

**The statement of basic materials.** The structure of a typical portable power source based on photoelectric converters is shown. The simplified classification of bidirectional converters is given. An overview of the main topologies of non-isolated bidirectional dc-dc converters has been carried out, their features and working principles have been distinguished.

**Conclusions.** The results of the review allow developers to choose the optimal topology of a non-isolated bidirectional converter for portable applications.

**Keywords:** dc-dc converter; bidirectional converter; non-isolated converter; renewable energy sources.

Fig.: 5. Table: 1. References: 32.

УДК 621.314.1

*Константин Тительмаер, Александр Гусев, Александр Велигорский*

### ОБЗОР НЕИЗОЛИРОВАННЫХ ДВОНАПРАВЛЕННЫХ ТОПОЛОГИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОРТАТИВНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ НА БАЗЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Актуальность темы исследования.** Современные тенденции развития систем электропитания на основе возобновляемых источников накладывают все большие требования к эффективности преобразователей, которые в них используются. Поэтому существует потребность в обзоре существующих типов неизолрированных преобразователей для дальнейшего выявления и применения самых оптимальных

**Постановка проблемы.** В процессе разработки портативных систем питания на основе возобновляемых источников, разработчикам приходится решать задания построения высокоэффективных двонаправленных преобразователей постоянного напряжения, для связи общей шины постоянного напряжения с накопителем энергии.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе и в базе IEEE Xplore, которые относятся к двонаправленным преобразователям постоянного напряжения.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Классификация и обзор основных топологий, неизолрированных двонаправленных преобразователей.

**Постановка задачи.** Провести обзор и анализ особенностей работы основных топологий, неизолрированных двонаправленных преобразователей постоянного напряжения.

**Изложение основного материала.** Показана структура типового портативного источника питания на основе фотоэлектрических преобразователей. Дана упрощенная классификация двонаправленных преобразователей. Проведен обзор основных топологий, не изолированных двонаправленных преобразователей постоянного напряжения, выделены их особенности та принципы работы.

**Выводы в соответствии со статьей.** Результаты обзора позволяют выбрать оптимальную топологию не изолированного двонаправленного преобразователя для портативных применений.

**Ключевые слова:** dc-dc преобразователь; двонаправленный преобразователь; неизолированный преобразователь; возобновляемые источники электроэнергии.

Рис.: 5. Табл.: 1. Библ.: 32.

**Тительмаер Костянтин Олександрович** – аспірант, асистент кафедри БРАС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Тительмаер Константин Александрович** – аспірант, асистент кафедри БРАС, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Tytelmaier Kostiantyn** – PhD student, assistant of BRAS Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** kostya.tytelmaier@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7582-0204>

**ResearcherID:** F-4365-2016

**Scopus Author ID:** 57188715517

**Гусев Александр Александрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри БРАС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Гусев Александр Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедри БРАС, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Husev Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, associate professor, associate professor of BRAS Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** oleksandr.husev@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7810-457X>

**ResearcherID:** F-5792-2014

**Scopus Author ID:** 45861130600

**Велігорський Олександр Анатолійович** – кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри БРАС, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Велигорский Александр Анатоліевич** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой БРАС, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Veligorskyi Oleksandr** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of BRAS Department, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8256-7339>

**ResearcherID:** F-3889-2014

**Scopus Author ID:** 56338447100

*Petro Lezhnyuk, Iryna Hunko, Juliya Malogulko, Iryna Kotylko, Liudmyla Krot*

## MODELING OF COMPATIBLE WORK OF DISTRIBUTED POWER SOURCES OF ELECTRIC POWER AND CENTRALISED POWER SUPPLY

**Urgency of the research.** Current trends of distributed generation development in Ukraine indicate a rapid generation increase from renewable energy plants. Most developed countries gradually refuse from the fossil fuels use and invest more and more to the “green” energy. Therefore, there is a need for a detailed study of the operation conditions of distributed energy sources due to their instability, as well as the processes that arise in distribution electric networks with diverse types of distributed energy sources.

**Target setting.** In the producing process of power energy by distributed energy sources due to the increase in their number, there are situations where several renewable sources of energy operate to only one system of buses. Thus, such distributive networks acquire the features of a local power system, which complicates the control process of such systems, and also there is a problem with the electricity supply of consumers.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The analysis of publications suggests that in literature more attention is paid to studying the operating modes of solar power plants, or small hydroelectric power plants. However, almost no attention was paid to the study of their co-operation work.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Only a few works are devoted to the study of the co-operation of the diverse sources of distributed energy sources in the local electrical systems. That is why, their impact on power distribution networks and on the grid in general has not been studied extensively.

**The research objective.** In this article was considered the influence of asynchronous generators on small hydroelectric power plants on the operation modes of distribution electrical networks, and were investigated the processes that are occurring in local power systems with different types of distributed energy sources.

**The statement of basic materials.** Based on the research results, was developed a computer model of a such system in the PS CAD software environment. Two solar stations and one small hydroelectric power station with an asynchronous generator were connected to the power supply. It was shown the simulation of two modes of operation: a joint operation of a small hydroelectric power station, two solar power stations and a power supply center; a joint operation of a small hydroelectric power plant, two solar power stations and a power supply disconnected.

**Conclusions.** As a result of computer simulation, it is shown that by switching on a small hydroelectric power plant with an asynchronous generator in the case of an emergency shutdown of centralized power supply, it is possible to restore the work of solar power plants, and thus partially or completely restore the power supply of consumers.

**Keywords:** local electrical systems; distributed energy sources; PS CAD; power supply.

Fig.: 3. Table: 1. References: 6.

**Urgency of the research.** In the 21<sup>st</sup> century, energy consumption and environmental pollution caused by traditional power plants have become an important problem, resulting in climate change in the world. And the adverse natural and man-made effects of conventional energy contribute to the transition to renewable energy sources. The policy for increasing the share of electricity from non-traditional energy sources in European countries by 2020 is as follows: Latvia plans to increase the indicator to 42 %, Finland – to 38 %, Great Britain – to 15 %, Poland – 15 %, Slovakia – 14 %, Hungary – 13 %, etc.

For example, the Swedish government announced in 2015 that it plans to abandon the use of fossil fuels to become the world's first non-fossil fuel state. In the budget submitted for consideration to the government, almost \$1 billion was reserved for the installation of «green infrastructure» – solar panels and wind power plants. Costs for research were provided too – including ones for improving the ways of storing electricity. Iceland, already provides itself with renewable energy by almost 100 %. This result has been achieved thanks to large-scale investments in hydropower and the production of geothermal energy. Germany plans to provide about 80 % of the energy needed from renewable sources by 2050. According to the UN, by the middle of the century it will be possible to provide more than half of human energy needs at the expense of renewable sources. The use of renewable energy sources is one of the most important directions of Ukraine's energy policy. Due to this direction, the country's traditional fuel and energy resources are saved.

**Target setting.** In the last decade there has been a sharp increase in the generation capacity of distributed energy sources. Their parallel operation with the power system causes

a some problems, when several renewable energy sources work on only one system of buses, forming a local power system. This leads to significant problems with consumer supply.

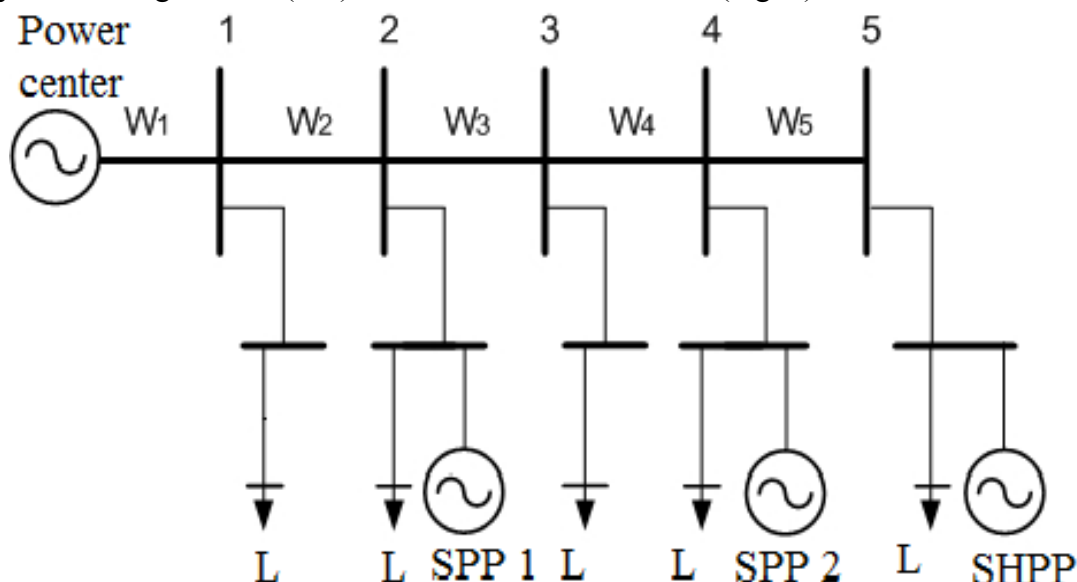
**Actual scientific researches and issues analysis.** Analyzing the experience of foreign countries, the peculiarities of the climate and the geographical location of the Vinnytsya region, we came to the conclusion that it is advisable to use alternative sources of electricity such as water and sun. Vinnytsya region takes the leading position in the development of RES in distribution networks. The increase in their number leads to situations when several RES operate on one system of buses. Thus, such distributive networks acquire the features of a local power system (LPS).

**Uninvestigated parts of general matters defining.** In view of the fact that in most of the scientific papers in this area almost no attention is paid to the study of the co-operation of distributed energy sources generation in local electrical systems, then there is a need to investigate in detail the influence of such sources to the distributive power network [1–3].

**The research objective.** In order to study the processes occurring in distributed electric networks with different types of distributed energy sources, a computer model of such an LPS in the software environment PS CAD (Power System Simulation) was developed.

An analysis of foreign sources suggests that this software environment is widely used to simulate the operation of power grids in which distributed energy sources are exploited. PS CAD is a fast, accurate and simple tool for simulating power systems and power electronic converters when designing, analyzing, optimizing and verifying them. The PS CAD program offers a wide range of tools and a large library of components for detailed analysis of electrical equipment [4–6].

**The statement of basic materials.** Let's consider a model of a local electrical system, when two solar power plants (SPP) and one small hydroelectric power plant (SHPP) with an asynchronous generator (AG) are connected to one feeder (Fig. 1).



*Fig. 1. Model of local 10/0.4 kV electric system*

Under this scheme a model of 10/0.4 kV LPS was designed in software complex PSCAD. Computer model of the local electrical system contains 150 kW SHPP, two 2 MW SPP (SPP model diagram is shown in Fig. 2), five transmission lines for power consumers, the battery of static capacitors (BSC) to compensate reactive power (Fig. 3).

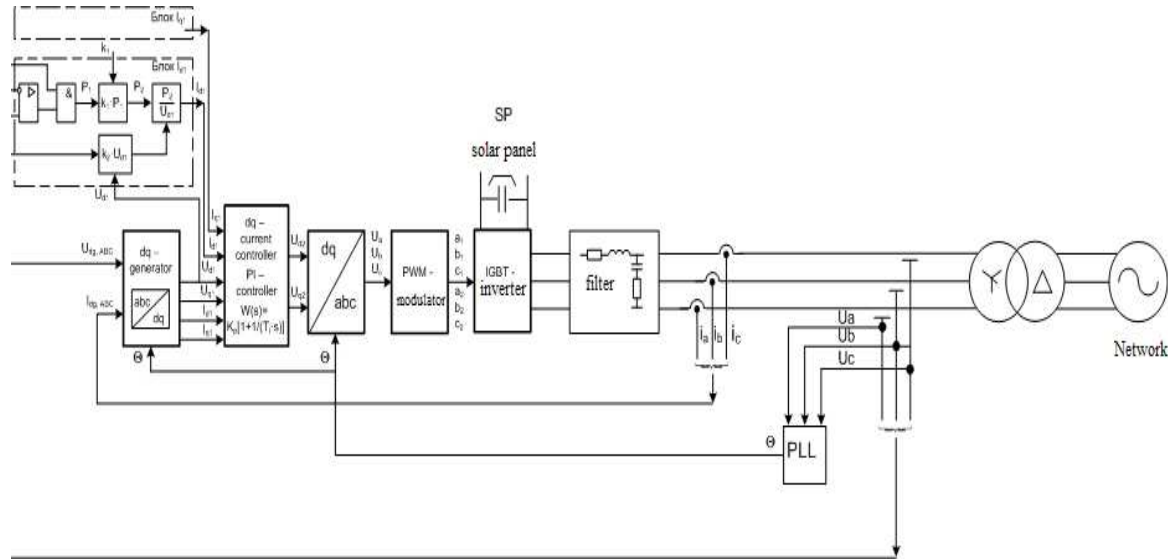


Fig. 2. Schematic diagram of the SPP with PI controller in PS CAD

The two modes of operation were simulated:

- 1) joint work of the SHPP, two SPPs and centralized power supply;
- 2) the joint work of the SHPP, two SPPs with the disconnected centralized power supply.

The simulation results are given in Table.

For the purpose of studying the influence of distributed power sources on load and voltage of 0.4 kV buses, simulation of the mode of joint operation of the SHPP, SPP<sub>1</sub>, SPP<sub>2</sub> and centralized power supply was carried out.

When the centralized power supply is disconnected, we run SHPP with asynchronous generator, from which the voltage is applied to solar power inverters and runs SPP<sub>1</sub> SPP<sub>2</sub> restoring the power supply for consumers.

Table

Simulation results of modes

№ experiment	System	SPP <sub>1</sub>	SPP <sub>2</sub>	SHPP	Load	Notes
	P	P	P	P	P	
1.	0,335	1,975	2,033	0,200	1. 1,556	with centralized power supply
					2. 0,984	
					3. 1,403	
					4. 0,170	
					Σ = 4,113	
2.	-	2,008	1,986	0,159	1. 1,478	without centralized power supply
					2. 0,964	
					3. 1,452	
					4. 0,212	
					Σ = 4,106	

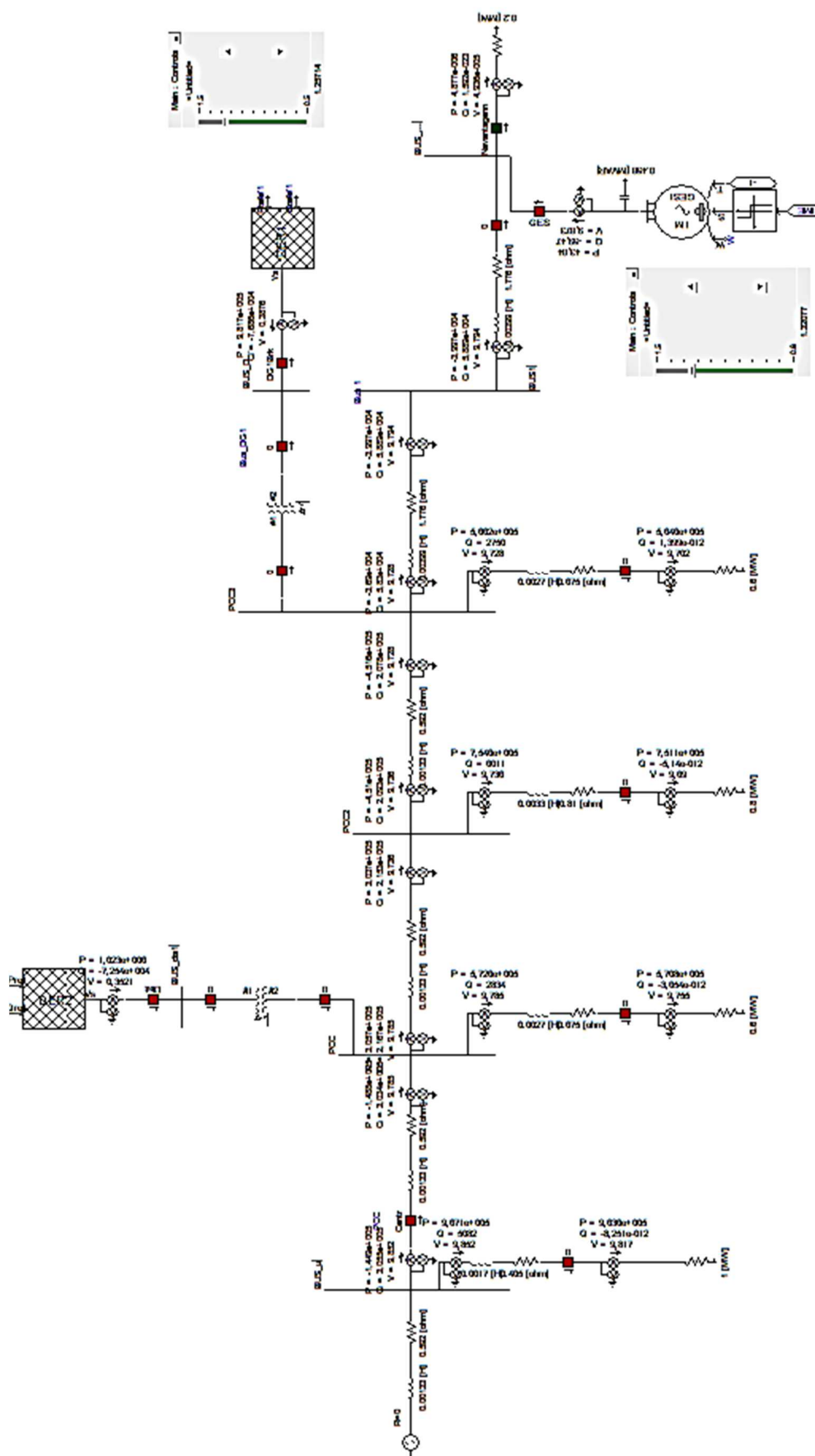


Fig. 3. Schematic computer model of 10/0.4 kV LPS in PS CAD



**Conclusions.** Consequently, by switching on a small hydroelectric power plant with an asynchronous generator in the case of an emergency shutdown of centralized power supply, it is possible to restore the work of solar power plants, and thus partially or completely restore the power supply of consumers.

### References

1. Lezhniuk, P., Kulyk, V., Kovalchuk, O. (2011). *Optimal control of distributed sources of energy in the local electrical system*. Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine. Collected works. Special Issue, 1, 48–55 [in English].
2. Kozyrskiy, V. V., Tuhai, Yu. I., Bodunov, V. M., Hai, O. V. (2011). Intehratsiia ponovliuvanykh dzherel enerhii v rozpodilni elektrychni merezhi silskykh rehioniv [Integration of renewable energy sources into distributive electric networks in rural regions]. *Tekhnichna elektrodynamika – Technical electrodynamics*, 5, 63–67 [in Ukrainian].
3. Lezhniuk, P., Kulyk, V., Burykin, O., Rubanenko, O., Malogulko, Yu. (2018). *Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems*. Vinnitsa: VNTU [in English].
4. Fundamentals of PSCAD and General Applications. Retrieved from [http://www.nayakcorp.com/Getting\\_Started42.ppt](http://www.nayakcorp.com/Getting_Started42.ppt).
5. Makarenko, V. (2013). Prohrammnaia sreda modelyrovaniya enerhosystem PSCAD [The software environment for modeling power systems]. *Modelirovanie radioelektronnykh ustroystv – Simulation of radio electronic devices*, 11, 44–48 [in Russian].
6. Lezhniuk, P., Rubanenko, O., Hunko, I. (2015). Vplyv invertoriv SES na pokaznyky yakosti elektrychnoi enerhii v LES [Influence of SPP inverters on indicators of quality of electric energy in LES]. *Bulletin of the Khmelnytsky National University. Series: Engineering. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Tekhnichni nauky*, 2, 134–145 [in Ukrainian].

### References (in language original)

1. *Lezhnyuk P. Optimal control of distributed sources of energy in the local electrical system / P. Lezhnyuk, V. Kulik, O. Kovalchuk // Proceedings of the Institute of Electrodynamics of NAS of Ukraine. Collected works. Special Issue. Part 1. – 2011. – P. 48–55.*
2. *Інтеграція поновлюваних джерел енергії в розподільні електричні мережі сільських регіонів / В. В. Козирський, Ю. І. Тугай, В. М. Бодунов, О. В. Гай // Технічна електродинаміка. – 2011. – № 5. – С. 63–67.*
3. *Optimization of the functioning of the renewable energy sources in the local electrical systems / P. Lezhniuk, V. Kulyk, O. Burykin, O. Rubanenko, Yu. Malogulko. – Vinnitsa: VNTU, 2018. – 124 p.*
4. *Fundamentals of PSCAD and General Applications [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://www.nayakcorp.com/Getting\\_Started42.ppt](http://www.nayakcorp.com/Getting_Started42.ppt).*
5. *Макаренко В. Программная среда моделирования энергосистем PSCAD / В. Макаренко // Моделирование радиоэлектронных устройств.– 2013. – № 11. – С. 44–48.*
6. *Лежнюк П. Д. Влияние инверторов СЕС на показатели качества электрической энергии в ЛЕС / П. Д. Лежнюк, О. С. Рубаненко, І. О. Гунько // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 134–145.*

УДК 621.316

*Петро Лежнюк, Ірина Гунько, Юлія Малогулко, Ірина Котилко, Людмила Крот*  
**МОДЕЛЮВАННЯ СУМІСНОЇ РОБОТИ РОЗОСЕРЕДЖЕНИХ ДЖЕРЕЛ  
ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні тенденції розвитку розосередженого генерування в Україні свідчать про стрімке зростання генерованих потужностей електричними станціями, які використовують відновлювану енергію. Більшість розвинених країн поступово відмовляються від використання викопного палива та все більше коштів інвестують у «зелену» енергетику. Тому є потреба детального дослідження умов роботи розосереджених джерел генерування через їхню нестабільність, а також процесів, що виникають у розподільних електричних мережах із різнотипними розосередженими джерелами енергії.

**Постановка проблеми.** У процесі виробництва електричної енергії джерелами розосередженого генерування в зв'язку зі зростанням їх кількості виникають ситуації, коли декілька відновлюваних джерел енергії працюють лише на одну систему шин. Таким чином, такі розподільні мережі набувають рис локальної електроенергетичної системи, що ускладнює процес керування такими системами, а також виникає проблема з електропостачанням споживачів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз публікацій свідчить про те, що в літературних джерелах більше уваги приділяється або дослідженню режимів роботи сонячних станцій, або малих гідроелектростанцій. Проте майже не приділено уваги дослідженню їхній сумісної роботи.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Дуже мало робіт присвячено дослідженню сумісної роботи різнотипних джерел розосередженого генерування в локальних електричних системах. У зв'язку з цим майже не досліджено їх вплив на розподільні електричні мережі та на енергосистему загалом.

**Постановка завдання.** У статті розглянуто вплив асинхронних генераторів на малих гідроелектростанціях на режими роботи розподільних електричних мереж, а також досліджено процеси, які виникають у локальних енергосистемах із різнотипними розосередженими джерелами енергії.

**Виклад основного матеріалу.** На основі результатів дослідження розроблено комп'ютерну модель такої системи в програмному середовищі PS CAD. До центру живлення було приєднано дві сонячні станції та одну малу гідроелектростанцію з асинхронним генератором. Проведено моделювання двох режимів роботи: сумісної роботи малої гідроелектростанції, двох сонячних електростанцій та центру живлення; сумісної роботи малої гідроелектростанції, двох сонячних електростанцій та із відключеним центром живлення.

**Висновки відповідно до статті.** У результаті комп'ютерного моделювання показано, що у випадку аварійного відключення централізованого електропостачання за допомогою увімкнення малої гідроелектростанції з асинхронним генератором можна відновити роботу сонячних електростанцій, а таким чином частково або повністю відновити електропостачання споживачів.

**Ключові слова:** локальна енергосистема; джерела розосередженого генерування; PS CAD; електропостачання.  
Рис.: 3. Табл.: 1. Бібл.: 6.

УДК 621.316

Петр Лежнюк, Ирина Гунько, Юлия Малогулко, Ирина Котилко, Людмила Крот

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

**Актуальность темы исследования.** Современные тенденции развития рассредоточенного генерирования в Украине свидетельствуют о стремительном росте генерируемых мощностей электрическими станциями, которые используют возобновляемую энергию. Большинство развитых стран постепенно отказываются от использования ископаемого топлива и все больше инвестируют в «зеленую» энергетику. Поэтому существует потребность детального исследования условий работы рассредоточенных источников генерации в связи с их нестабильностью, а также процессов, возникающих в распределительных электрических сетях с разнотипными рассредоточенными источниками энергии.

**Постановка проблемы.** В процессе производства электрической энергии источниками рассредоточенного генерирования в связи с возрастанием их количества возникают ситуации, когда несколько возобновляемых источников энергии работают только на одну систему шин. Таким образом, такие распределительные сети приобретают черты локальной электроэнергетической системы, что затрудняет процесс управления такими системами, а также возникает проблема с электроснабжением потребителей.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Анализ публикаций свидетельствует о том, что в литературных источниках больше внимания уделяется или исследованию режимов работы солнечных станций, или малых гидроэлектростанций. Однако почти не уделено внимания исследованию их совместной работы.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Очень мало работ посвящено исследованию совместной работы разнотипных источников рассредоточенного генерирования в локальных электрических системах. В связи с этим почти не исследовано их влияние на распределительные электрические сети и на энергосистему в целом.

**Постановка задачи.** В статье рассмотрено влияние асинхронных генераторов на малых гидроэлектростанциях на режимы работы распределительных электрических сетей, а также исследованы процессы, возникающие в локальных энергосистемах с разнотипными рассредоточенными источниками энергии.

**Изложение основного материала.** На основе результатов исследования разработана компьютерная модель такой системы в программной среде PS CAD. К центру питания были присоединены две солнечные станции и одна малая гидроэлектростанция с асинхронным генератором. Проведено моделирование двух режимов работы: совместной работы малой гидроэлектростанции, двух солнечных электростанций и центра питания; совместной работы малой гидроэлектростанции, двух солнечных электростанций и с отключенным центром питания.

**Выводы в соответствии со статьей.** В результате компьютерного моделирования показано, что в случае аварийного отключения централизованного электроснабжения посредством включения малой гидроэлектростанции с асинхронным генератором можно восстановить работу солнечных электростанций, а таким образом частично или полностью восстановить электроснабжение потребителей.

**Ключевые слова:** локальная энергосистема; источники распределительного генерирования; PS CAD; электроснабжение.

Рис.: 3. Табл.: 1. Библ.: 6.

**Lezhnyuk Petro** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Stations and Systems, Vinnitsa National Technical University (95 Khmelnytsky highway, 21000 Vinnitsa, Ukraine).

**Лежнюк Петро Дем'янович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій і систем, Вінницький національний технологічний університет (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21000, Україна).

**Лежнюк Петр Демьянович** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедры электрических станций и систем, Винницкий национальный технический университет (Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21000, Украина).

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

**Hunko Iryna** – PhD in Technical Sciences, senior lecturer of the Department of Electrical Stations and Systems, Vinnitsa National Technical University (95 Khmelnytsky highway, 21000 Vinnitsa, Ukraine).

**Гулько Ірина Олександрівна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технологічний університет (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21000, Україна).

**Гулько Ирина Александровна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электрических станций и систем, Винницкий национальный технический университет (Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21000, Украина).

**E-mail:** iryna\_hunko@ukr.net

**Malogulko Juliya** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Stations and Systems, Vinnitsa National Technical University (95 Khmelnytsky highway, 21000 Vinnitsa, Ukraine).

**Малогоулко Юлія Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технологічний університет (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21000, Україна).

**Малогоулко Юлия Владимировна** – кандидат технических наук, доцент кафедры электрических станций и систем, Винницкий национальный технический университет (Хмельницкое шоссе 95, г. Винница, 21000, Украина).

**E-mail:** Juliya\_Malogulko@ukr.net

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-6637-7391>

**ResearcherID:** I-9097-2018

**Scopus Author ID:** 57193505644

**Kotylko Iryna** – methodist of the 2<sup>nd</sup> category in Educational-Methodical Department, Vinnitsa National Technical University (95 Khmelnytsky highway, 21000 Vinnitsa, Ukraine).

**Котилко Ірина Вадимівна** – методист 2-ї кат. навчально-методичного відділу, Вінницький національний технологічний університет (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21000, Україна).

**Котилко Ирина Вадимовна** – методист 2-й кат. учебно-методического отдела, Винницкий национальный технический университет (Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21000, Украина).

**E-mail:** i.kotylko@gmail.com

**Krot Liudmyla** – student, Vinnitsa National Technical University (95 Khmelnytsky highway, 21000 Vinnitsa, Ukraine).

**Крот Людмила Русланівна** – студентка, Вінницький національний технічний університет (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21000, Україна).

**Крот Людмила Руслановна** – студентка, Винницкий национальный технический университет (Хмельницкое шоссе 95, г. Винница, 21000, Украина).

**E-mail:** 2e.krot2015@gmail.com

## РОЗДІЛ VI. ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

УДК 664.66.022.39

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-196-203

Наталія Буяльська, Юлія Ткаченко, Наталя Денисова

### ВИКОРИСТАННЯ ПРОДУКТІВ ПЕРЕРОБКИ ЦИКОРІЮ КОРЕНЕПЛІДНОГО В ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ

**Актуальність теми дослідження.** Використання продуктів переробки коренеплодів цикорію у процесі виробництва борошняних кондитерських виробів особливо актуально, оскільки їхні компоненти містять унікальний набір есенціальних нутрієнтів. Перспективність досліджень полягає в розробці інноваційних технологій кондитерських виробів із використанням порошку кореня цикорію, які здатні надати дієтичні властивості готовим виробам, можуть бути рекомендовані хворим на цукровий діабет, поліпшити якість готових виробів, знизити енергетичну цінність.

**Постановка проблеми.** Основним прийомом у створенні функціональних продуктів є пошук і впровадження у виробництво нетрадиційних добавок рослинного походження, що одночасно мають технологічну та фізіологічну функціональність.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Дослідження використання продуктів переробки цикорію коренеплідного у виробництві продуктів харчування обґрунтовані та представлені в роботах багатьох відомих українських та зарубіжних учених.

**Виділення не досліджених частин загальної проблеми.** Незважаючи на численні дослідження, у літературних джерелах недостатньо даних щодо застосування продуктів переробки цикорію на основі місцевої рослинної сировини в борошняних кондитерських виробках.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є пошук оптимального складу сировинних добавок на основі продуктів переробки цикорію коренеплідного в рецептурах здобного печива і вивчення їхнього впливу на споживчі властивості.

**Виклад основного матеріалу.** Визначено оптимальний процент дозування добавки порошку кореня цикорію. Встановлено, що досліджуваний зразок із вмістом добавки 3 % характеризується кращими органолептичними та фізико-хімічними показниками. Додавання порошку кореня цикорію в кількості 3 % призводить до підвищення міцності клейковини.

**Висновки відповідно до статті.** Доведено доцільність використання порошку цикорію для розроблення нових сортів борошняних кондитерських виробів із підвищеною харчовою цінністю, які рекомендовані як для масового споживання, так і як продукти функціонального харчування. Розроблено рецептуру та технологічну схему виробництва печива з використанням порошку цикорію коренеплідного.

**Ключові слова:** інулін; порошок кореня цикорію коренеплідного; борошняні кондитерські вироби; пісочне тісто; печиво.

Рис.: 2. Табл.: 4. Бібл.: 15.

**Актуальність теми дослідження.** Спосіб життя сучасної людини кардинально відрізняється від того способу життя, який вели наші предки. Нерегулярне й неправильне харчування, надмірні фізичні і розумові навантаження, стрес, забруднення навколишнього середовища – усі ці фактори негативно позначаються на нашому здоров'ї. Для підтримки імунітету та працездатності організму просто необхідно стежити за надходженням вітамінів та інших поживних речовин.

Розробляючи нові продукти харчування з покращеним хімічним складом і поліфункціональними властивостями, доцільно орієнтуватися на харчові продукти, які споживаються всіма верствами населення. Такими продуктами є хліб, хлібобулочні та борошняні кондитерські вироби. Зазначені продукти досить легко збагачувати потрібними нам компонентами та добавками. Останнім часом значно виріс попит на борошняні кондитерські вироби. При цьому більшу перевагу надають продуктам із подовженим терміном зберігання, гарними смаковими властивостями, виготовленим із сировини високої якості. Але борошняні кондитерські вироби, виготовлені за уніфікованими рецептурами, не мають високої біологічної та харчової цінності та профілактичних властивостей [1].

Продукти переробки коренеплодів цикорію містять унікальний набір есенціальних нутрієнтів – 60 % інуліну, білкові речовини, вуглеводи левулозу (10–20 %), фруктозу (4,5–9,5 %), пектин, жир, холін, глюкозид інтибіну (0,2 %), а також цикорієву, яблучну,

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

лимонну й винні кислоти. За літературними даними, до складу цикорію входять 33 мінеральних елементів і вітаміни А, Е, В<sub>6</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>12</sub>, РР [2].

Переважає кількість публікацій, що доводять значний загальний профілактичний ефект цикорію при використанні його у складі харчових продуктів, що зумовлено насамперед вмістом фруктоолігосахаридів та інуліну. Останній є основним функціональним складником цикорію.

Інулін і олігофруктоза не підвищують рівень глюкози в крові, оскільки їхній глікемічний індекс практично дорівнює нулю. Інулін позитивно впливає на видовий і кількісний склад мікрофлори кишечника, зв'язує і стимулює рухову активність (моторику й перистальтику) шлунково-кишкового тракту, уповільнює гідроліз вуглеводів, знижує рівень холестерину і тригліцеридів у крові, зменшує ліпогенез в печінці [3]. До того ж використання інулінвмісної сировини не вимагає істотних змін технологічного процесу.

**Постановка проблеми.** Основним прийомом у створенні функціональних продуктів є пошук і впровадження у виробництво нетрадиційних добавок рослинного походження, що одночасно мають технологічну та фізіологічну функціональність. Важливим напрямом таких розробок є промислова переробка цикорію – інуліноносія, який містить велику кількість цінних біологічно активних сполук протекторної та пребіотичної дії для подальшого застосування у виробництві функціональних продуктів харчування.

У харчовій промисловості цикорій коренеплідний є незамінною сировиною у виробництві дієтичної продукції не тільки для профілактики цукрового діабету, але і для уникнення появи інших захворювань. Тенденцію збагачувати продукцію біологічно активними добавками на його основі можна вважати оновленням асортиментної політики харчових підприємств, яка сприяє підвищенню якості продукції, її харчової цінності та конкурентоспроможності [4].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Вирішенню проблеми створення продуктів харчування із заданими функціональними властивостями, а саме товарів масового споживання – хлібобулочних та кондитерських виробів із використанням інулінвмісної сировини, присвячені роботи вітчизняних та зарубіжних учених (К. Г. Іоргачової, І. В. Попової, В. І. Ципріяна, Б. О. Голуб, Р. П. Щелакової, Н. В. Дуденко, Л. Ф. Павлоцької, О. В. Макарової, Л. І. Пучкової, Т. Б. Циганової, Л. Г. Резникової, Р. Д. Поландової, Ф. Г. Нахмедова, В. А. Ломачинського, Г. О. Магомедова, Л. П. Пашенко, J. Van Loo, P. Coussement, M. Roberfroid та інших учених) [2–7]. Внесення продуктів із цикорію до складу хлібобулочних виробів сприятливо впливає на процес приготування тіста, сприяє скороченню тривалості тістоутворення, підвищує стабільність і еластичність тіста, регулює абсорбцію води [8]. У процесі якісного аналізу хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів, до складу яких входили інулінвмісні добавки, було відзначено позитивний вплив цього полісахариду на органолептичні властивості, вироби мали більш виражене забарвлення, добре розвинену тонкостінну пористість [4], довше зберігали свіжість і були менш схильні до мікробного псування [9].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Актуальним залишається пошук можливостей поліпшення якості хлібобулочних і кондитерських виробів використанням функціональних добавок. Особливо активно ведеться пошук жирозамінників з пребіотичною дією в поєднанні з біологічно активними речовинами для зниження калорійності виробів.

Промислова переробка коренеплідів цикорію передбачає вироблення порошку кореня цикорію, цикорію розчинного і цикорію інстантного, які використовуються в окремих харчових технологіях. Проте проблема використання місцевої інулінвмісної рослинної сировини для виробництва борошняних кондитерських виробів, а саме здобного печива, є недостатньо вивченою.

**Метою статті** є дослідження впливу добавки порошку кореню цикорію на органолептичні та фізико-хімічні показники якості здобного печива.

**Виклад основного матеріалу.** Об'єктом дослідження було обрано печиво «Масляне» (пісочно-виїмкове здобне печиво з борошна вищого сорту; має овальну чи квадратну форму; випускається вагомим або фасованим; в 1 кг міститься не менше 80 штук; вологість –  $(5,5 \pm 1,5) \%$ ).

Дослідження виконували шляхом проведення пробної лабораторної випічки. Для виготовлення пісочного печива використовувалась така сировина: борошно пшеничне вищого сорту, цукор білий кристалічний, яйця курячі, масло вершкове, сіль кухонна харчова, добавка дієтична «Цикорій» (*Cichorium intybus* L.), виробник ПрАТ «Ліктрави», Україна.

Вся сировина, яка використовувалась, відповідала вимогам чинного законодавства:

- борошно пшеничне вищого сорту ДСТУ 46.004-99;
- цукор білий кристалічний ДСТУ 4623:2006;
- яйця курячі харчові ДСТУ 5028:2008;
- масло вершкове ДСТУ 4399:2005;
- сіль кухонна харчова ДСТУ 4246:2003;
- добавка дієтична «Цикорій» ТУ У 15.8-00481181-009-2004.

Уніфікована рецептура печива представлена в табл. 1.

Таблиця 1

Уніфікована рецептура на печиво «Масляне»

Назва сировини	Вміст сухих речовин, %	Витрати сировини, кг			
		На порцію		На 1 т готової продукції	
		у натурі	у сухих речовинах	у натурі	у сухих речовинах
Борошно пшеничне в/г	85,50	100,0	85,50	536,15	458,41
Цукор білий	99,85	30,0	29,955	160,84	160,60
Яйця курячі	27,00	20,0	5,40	107,23	28,95
Масло вершкове	84,00	77,0	64,68	412,83	346,78
Есенція	-	0,3	-	1,61	-
Всього сировини	-	227,30	185,535	1218,66	994,74
Вихід	94,5	186,52	176,26	1000,0	945,0

Вивчали вплив порошку цикорію коренеплідного на якість пісочного печива залежно від кількості дозування добавки до маси борошна (добавку вносили у концентраціях 1, 3 та 5 % до маси борошна). Добавку попередньо перемелювали до порошкоподібного стану.

Відбір проб і підготовку їх до досліджень проводили загальноприйнятими методами [10]. Визначили фізико-хімічні показники борошна пшеничного і порошку цикорію коренеплідного. Результати представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники зразків

Найменування показників	Пшеничне борошно	Порошок кореня цикорію
Вологість, %	14,22	8,0
Кислотність, град.	3,07	4,3
Масова частка металодомішок, %	Відсутні	Відсутні
Сторони домішки, %	Відсутні	Відсутні

Важливо було дослідити вплив застосування добавки на органолептичні та фізико-хімічні показники якості тіста та готового виробу.

Введення порошку цикорію в рецептуру пісочного печива значно не відобразилось на органолептичних властивостях готового виробу, вони відповідали вимогам діючого стандарту [11]. Винятком став смак печива. Печиво з добавками 1 та 3 % порошку кореня цикорію мало приємний смак та аромат. Але при збільшенні вмісту порошку цикорію в рецептурі до 5 % підвищувався специфічний смак цикорію та залишався неприємний гіркуватий післясмак.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Вологість тістових заготовок та визначали за стандартною методикою для контрольного зразка вона становила 29,50 %, для тісті з добавкою порошку кореня цикорію в кількості 1, 3 та 5 % – відповідно 28,90; 28,20 та 27,60 %. Вологість готових виробів (рис. 1) визначали висушуванням у сушильній шафі СЕШ-3М [12].

## Вологість досліджуваних зразків

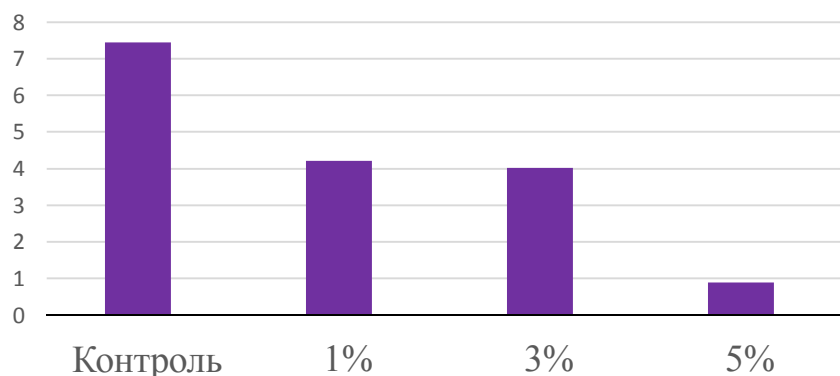


Рис. 1. Зміна вологості готових виробів залежно від внесення добавки

Таким чином, вологість випечених зразків зменшується в разі збільшення кількості добавки, що пояснюється нижчою вологістю тіста зразків із добавками порівняно з контрольним зразком.

Дослідження намочуваності печива [13] проводили в три етапи: I – наступного дня після випікання; II – через 4 дні; III – через 7 днів.

## Намочуваність пісочного печива

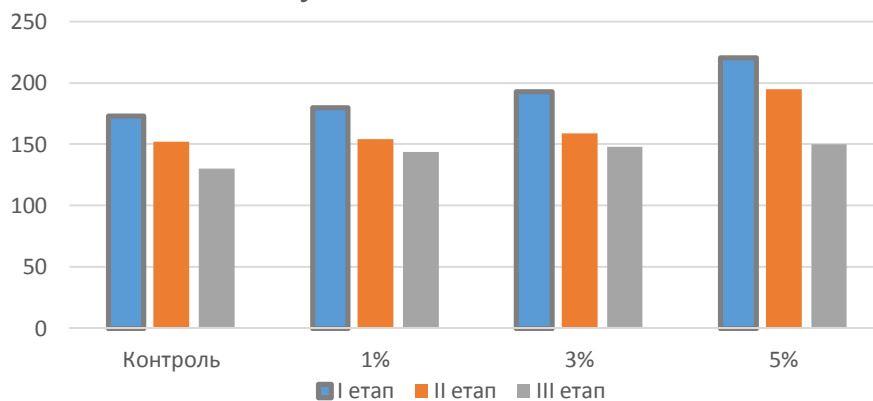


Рис. 2. Зміна намочуваності пісочного печива

Зі збільшенням часу зберігання досліджуваних зразків печива його намочуваність зменшується. Але зразок № 3 (5 % добавки) навіть через 7 днів зберігання має намочуваність, що відповідає вимогам чинного стандарту. Це дає можливість зробити висновок, що внесення порошку кореня цикорію збільшує термін зберігання пісочного печива.

Лужність пісочного печива визначали за ГОСТ 5898-87 [14]. Для контрольного зразка лужність становила 0,4 град., з добавкою 1 % кореня цикорію – 0,5; 3 % – 0,7; 5 % – 1,3 град. відповідно. У процесі приготування печива не використовуються хімічні розпушувачі, тому лужність готових виробів збільшується при підвищенні процента дозування цикорію коренеплідного. Але отримані значення знаходяться в допустимих межах і відповідають вимогам чинного стандарту. Вміст цукру ( $12 \pm 2$ ) % та жиру ( $2,3 \pm 1$ ) % в усіх зразках також відповідав вимогам стандарту.

Введення інуліну в рецептуру виробів у кількості 4 % до маси борошна і більше призводить до зменшення питомого об'єму борошняних кондитерських виробів та погіршення показників їхньої текстури. Для встановлення причини погіршення якості борошняних кондитерських виробів досліджували вплив дозування порошку цикорію коренеплідного на зміну властивостей тіста, а саме на зміну властивостей відмивання клейковини [15]. Контрольний зразок – проба тіста без добавки порошку цикорію.

Отримані результати наведені в табл. 3.

Таблиця 3

*Вплив дозування порошку цикорію коренеплідного на властивості  
клейковини пшеничного борошна*

Дозування, % до маси борошна	Кількість сирової клейковини, %	Розтяжність клейковини, см	Гідратаційна здатність
Властивості клейковини борошна			
-	31,4	22	158
Властивості клейковини борошна з порошком цикорію коренеплідного			
1	30,6	21,8	171
2	30,4	21,6	165
3	29,3	21,4	162
4	28,9	20,9	162
5	28,2	20,4	160

Встановлено, що зі збільшенням дозування порошку цикорію коренеплідного в усіх пробах досліджуваних зразків у тісті знижувалася кількість сирової клейковини з її зміцненням, що оцінюється за загальною деформацією, яка зменшувалася в порівнянні з контролем. Зміна властивостей відмивання клейковини пояснюється тим, що інулін, зв'язуючи воду, перешкоджає набуханню і структуруванню білків, призводячи до вимивання їх із пшеничного борошна разом із крохмалем та іншими компонентами.

Таким чином, за результатами органолептичної та фізико-хімічної оцінки якості обрана оптимальна концентрація добавки порошку кореня цикорію – 3 %. Рецептура печива з оптимальною концентрацією добавки наведена в табл. 4. Також розроблено технологічну схему виробництва печива з використанням порошку цикорію коренеплідного.

Таблиця 4

*Рецептура печива з вмістом 3 % порошку кореня цикорію*

Назва сировини	Вміст сухих речовин, %	Витрати сировини, кг	
		На 1 т готової продукції	
		у натурі	у сухих речовинах
Борошно пшеничне в/г	85,50	506,15	432,76
Порошок цикорію	92,0	30,0	27,6
Цукор білий	99,85	160,84	160,60
Яйця курячі	27,00	107,23	28,95
Масло вершкове	84,00	412,83	346,78
Есенція	-	1,61	-
Всього сировини	-	1218,66	996,69
Вихід	94,5	1000,0	945,0

**Висновки та пропозиції.** Доведено доцільність використання порошку цикорію для розроблення нових сортів борошняних кондитерських виробів із підвищеною харчовою цінністю, які рекомендовані як для масового споживання, так і як продукти функціонального харчування. Визначено оптимальний процент дозування добавки. Встановлено, що досліджуваний зразок з вмістом добавки 3 % характеризується кращими органолептичними та фізико-хімічними показниками. Додавання порошку кореня цикорію в кількості 3 % призводить до підвищення міцності клейковини.

Розроблено технологічну схему виробництва печива з використанням порошку кореня цикорію коренеплідного. Отримані дані можуть бути використанні для розробки і впровадження нового виробу функціонального призначення в масове виробництво.



**Список використаних джерел**

1. Андалиб А. Новые решения в кондитерском производстве / А. Андалиб // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2005. – № 2. – С. 5–6.
2. Фомина О. Цикорий ускоряет брожение теста и увеличивает газообразование / О. Фомина, Л. Резникова // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. – 2007. – № 6. – С. 18–19.
3. Стельмах В. М. Напрямки наукових досліджень з використання цикорію та продуктів на його основі з профілактичною й лікувальною метою [Електронний ресурс] / В. М. Стельмах, В. А. Бурлака // Вісник ЖНАЕУ. – 2010. – № 2. – С. 65–72. – Режим доступу : <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/63>.
4. Иоргачова К. Г. Использование инулинсодержащего сырья в технологии хлебобулочных и кондитерских изделий [Електронний ресурс] / К. Г. Иоргачова, О. В. Макарова, Е. В. Хвостенко // Харчова наука і технологія. – 2010. – № 1. – С. 13–17. – Режим доступу : [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnt\\_2010\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnt_2010_1_6).
5. Van Loo J. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet / J. Van Loo, P. Coussement, L. De Leenheer, H. Hoebregs, G. Smits // Critical Review in Food Science Nutrition. – 1995. – Vol. 35. – P. 525–552.
6. Roberfroid M. A. Review of the bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products / M. A. Roberfroid, J. Van Loo // Journal of Nutrition. – 1998. – Vol. 128. – P. 11–19.
7. Технология песочного печенья для больных сахарным диабетом / Н. В. Дуденко, Л. Ф. Павлоцкая, В. Г. Горбань, В. И. Жогло // Наука і соціальні проблеми суспільства: харчування, екологія, демографія : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, Харків, 23–24 травня 2006 р. / Харківський державний університет харчування та торгівлі. – Харків, 2006. – Ч. 1. – С. 139–141.
8. Щелакова Р. Использование инулина при производстве булочки «Столичной» / Р. Щелакова, Г. Евдокимова, Т. Дмитриева // Наукові праці. – 2006. – Вип. 29. – Т. 2. – С. 151–155.
9. Цыганова Т. Б. Разработка технологии хлеба из пшеничной муки с использованием продуктов переработки топинамбура / Т. Б. Цыганова, Д. А. Гусева, Ю. А. Аширова // Топинамбур и другие инулинсодержащие растения – проблемы возделывания и использования : материалы VI Международной научно-практической конференции, Тверь, 12–14 сентября 2006 г. / Тверская государственная сельскохозяйственная академия. – Тверь, 2006. – С. 104–107.
10. ДСТУ 4619:2006. Вироби кондитерські. Правила приймання, методи відбору та підготовки проб. – Введ. 29.06.2006. – Київ : Держспоживстандарт України, 2006. – 10 с.
11. ДСТУ 3781:2014. Печиво. Загальні технічні умови. – Введ. 01.07.2015. – К. : Держспоживстандарт України, 2015. – 16 с.
12. ДСТУ 4910:2008. Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин. – Введ. 01.09.2009. – К. : Держспоживстандарт України, 2008. – 14 с.
13. ГОСТ 10114-80. Изделия кондитерские мучные. Определение намокаемости. – Введ. 01.07.1981. – М. : Государственный комитет СССР по стандартизации, 1980. – 4 с.
14. ГОСТ 5898-87. Изделия кондитерские. Методы определения кислотности и щелочности. – Введ. 01.01.1989. – М. : Стандартиформ, 2012. – 10 с.
15. ДСТУ 3768:2010. Пшениця. Технічні умови. – Введ. 31.03.2010. – К. : Держспоживстандарт України, 2010. – 17 с.

**References**

1. Andalib, A. (2005). Novye resheniia v konditerskom proizvodstve [New solutions in confectionery production]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo – Confectionery and bakery production*, 2, 5–6 [in Russian].
2. Fomina, O., Reznikova L. (2007). Tsikorii uskoriat brozhenie testa i uvelichivaet gazoobrazovanie [Chicory accelerates fermentation of the dough and increases gas production]. *Khlibopekarska i kondyterska promyslovisht Ukrainy – Bakery and confectionery industry in Ukraine*, 6, 18–19 [in Russian].
3. Stelmakh, V. M., Burlaka, V. A. (2010). Napriamky naukovykh doslidzhen z vykorystannia tsykoriuu ta produktiv na yoho osnovi z profilaktychnoiu y likuvalnoiui metoiui [Prospects of using chicory and products based on chicory in preventive and curative purposes]. *Visnyk ZhNAEU – Herald of Zhytomyr National Agroecological University*, 2, 65–72. Retrieved from <http://ir.znau.edu.ua/handle/123456789/63>.
4. Iorhachova, K. H., Makarova, O. V., Khvostenko, E. V. (2010). Ispolzovanie inulinsoderzhashchego syria v tekhnologii khlebobulochnykh i konditerskikh izdelii [Use of inulin-containing raw materials in

technology of bakery and confectionery products]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia – Food Science and Technology*, 1, 13–17. Retrieved from [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit\\_2010\\_1\\_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Khnit_2010_1_6).

5. Van Loo, J. (1995). On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the Western diet. *Critical Review in Food Science Nutrition*, 35, 525–552.

6. Roberfroid, M. A., Van Loo, J. (1998). Review of the bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *Journal of Nutrition*, 128, 11–19.

7. Dudenko, N. V., Pavlotckaia, L. F., Gorban, V. G., Zhoglo, V. I. (2006). Tekhnologiia pesochnogo pechenia dlia bolnykh sakharnym diabetom [Technology of shortbread cookies for patients with diabetes mellitus]. Proceedings from *IV Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia «Nauka i sotsialni problemy suspilstva: kharchuvannia, ekolohiia, demohrafiia» – IV International scientific-practical conference «Science and social problems of society: food, ecology, demography»* (Kharkiv, May 23–24, 2006). Kharkiv: Kharkiv State University of Food Technology and Trade [in Russian].

8. Shchelakova, R., Evdokimova, G., Dmitrieva, T. Ispolzovanie inulina pri proizvodstve bulochki «Stolichnoi» [Use of inulin in the production of bun «Stolichnaia»]. *Naukovi pratsi – Scientific Works*, 29 (2), 151–155 [in Russian].

9. Tcyganova, T.B., Guseva, D.A., Ashirova, Iu.A. Razrabotka tekhnologii khleba iz pshenichnoi muki s ispolzovaniem produktov pererabotki topinambura [Development of technology of bread from wheat flour with using products of Jerusalem artichoke processing]. Proceedings from *VI Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia «Topinambur i drugie inulinosoderzhashchie rasteniia – problemy vozdelevaniia i ispolzovaniia» – 6th International Scientific and Practical Conference «Jerusalem artichoke and other inulin-containing plants – problems of cultivation and application»* (Tver, September 12–14, 2006). Tver: Tver State Agricultural Academy [in Russian].

10. Virobi konditerski. Pravila priimannia, metodi vidboru ta pidgotovki prob [Confectionery. Acceptance rules, methods of sampling and preparation of samples]. DSTU 4619:2006 (June 29, 2006).

11. Pechivo. Zagalni tekhnichni umovi [Bisquits. General specifications]. DSTU 3781:2014 (July 1, 2015).

12. Virobi konditerski. Metodi viznachennia masovikh chastok vologi ta sukhikh rechovin [Confectionery. Methods for determining the mass fraction of moisture and dry substances]. DSTU 4910:2008 (September 1, 2009).

13. Izdeliia konditerskie muchnye. Opredelenie namokaemosti [Bisquits. Method for determination of swelling in water]. GOST 10114-80 (July 1, 1981).

14. Izdeliia konditerskie. Metody opredeleniia kislotnosti i shchelochnosti [Confectionery. Methods for determination of acidity and alkalinity]. GOST 5898-87 (January 1, 1989).

15. Pshenitcia. Tekhnichni umovi [Wheat. Specifications]. DSTU 3768:2010 (March 31, 2010).

UDK 664.66.022.39

*Nataliia Buialska, Yuliia Tkachenko, Natalya Denisova*

## USE OF THE ROOT CHICORY PROCESSING PRODUCTS IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS

**Urgency of the research.** The use of the root chicory processing products in the production of flour confectionery products is especially important, since their components contain unique composition of essential nutrients. Perspective of research consists in development of innovative technologies of confectionery products with the use of chicory root powder which are capable to give dietary properties to finished products that can be recommended to patients with diabetes mellitus, improve the quality of finished products, and reduce energy value.

**Target setting.** The main way of the creation of functional products is a search and introduction into production of non-traditional additives of vegetable origin, which simultaneously have technological and physiological functionality.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Studies of the use of the root chicory processing products in the production of food products are substantiated and presented in the works of many well-known Ukrainian and foreign scientists.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Despite of numerous studies, there is insufficient data in the literature on the use of the root chicory processing products on the base of local plant material in flour confectionery.

**The research objective.** The aim of the study is to search for the optimal composition of raw additives based on the root chicory processing products in the recipes of buttery cookies, as well as to study their effect on the consumer properties of finished products.

**The statement of basic materials.** The optimum dosage of the addition of chicory root powder have determined. It is established that the investigated samples with the content of the additive of 3 % are characterized by the best organoleptic and physicochemical parameters. Adding chicory root powder in an amount of 3 % leads to an increase in the strength of gluten.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Conclusions.** The expediency of using chicory powder in the development of new types of flour confectionery products with increased nutritional value, which can be recommended as products of mass consumption and as functional foods, is proved. A recipe and a technological scheme for the production of cookies with the use of chicory root powder was developed.

**Keywords:** inulin; chicory root powder; flour confectionery products; shortbread dough; cookies.

Fig.: 2. Table: 4. References: 15.

УДК 664.66.022.39

Наталья Буяльская, Юлия Ткаченко, Наталья Денисова

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЦИКОРИЯ КОРНЕПЛОДНОГО В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

**Актуальность темы исследования.** Использование продуктов переработки цикория корнеплодного при производстве мучных кондитерских изделий особенно актуально, так как их компоненты содержат уникальный набор эссенциальных нутриентов. Перспективность исследований заключается в разработке инновационных технологий кондитерских изделий с использованием порошка корня цикория, способных придать диетические свойства готовым изделиям, которые могут быть рекомендованы больным сахарным диабетом, улучшить качество готовых изделий, снизить энергетическую ценность.

**Постановка проблемы.** Основным приемом в создании функциональных продуктов является поиск и внедрение в производство нетрадиционных добавок растительного происхождения, которые одновременно имеют технологическую и физиологическую функциональность.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследования использования продуктов переработки цикория корнеплодного в производстве продуктов питания обоснованы и представлены в работах многих известных украинских и зарубежных ученых.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Несмотря на многочисленные исследования, в литературных источниках недостаточно данных по применению продуктов переработки цикория на основе местного растительного сырья в мучных кондитерских изделиях.

**Постановка задачи.** Целью исследования является поиск оптимального состава сырьевых добавок на основе продуктов переработки цикория корнеплодного в рецептурах сдобного печенья, а также изучение их влияния на потребительские свойства готовых изделий.

**Изложение основного материала.** Определена оптимальная дозировка добавки порошка корня цикория. Установлено, что исследуемые образцы с содержанием добавки 3 % характеризуются лучшими органолептическими и физико-химическими показателями. Добавление порошка корня цикория в количестве 3 % приводит к повышению прочности клейковины.

**Выводы.** Доказана целесообразность использования порошка цикория при разработке новых сортов мучных кондитерских изделий с повышенной пищевой ценностью, которые могут быть рекомендованы как для массового потребления, так и в качестве продуктов функционального питания. Разработана рецептура и технологическая схема производства печенья с использованием порошка цикория корнеплодного.

**Ключевые слова:** инулин; порошок цикория корнеплодного; мучные кондитерские изделия; песочное тесто; печенье.

Рис.: 2. Табл.: 4. Библ.: 15.

**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).

**Nataliia Buialska** – 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

**ScopusID:** 57196191416

**Ткаченко Юлія Дмитрівна** – студентка, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Ткаченко Юлия Дмитриевна** – студентка, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Tkachenko Yuliia** – student, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** angellusia18@gmail.com

**Денисова Наталя Николаївна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри харчових технологій, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Денисова Наталья Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры пищевых технологий, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Natalya Denisova** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Department of Food Technology, Chernihiv National University of Technology (Shevchenka Str., 95, 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** 4386793@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3522-4210>

**ResearcherID:** G-6068-2016

УДК[637.146.3.002.62]:67.017

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-204-215

Наталя Гринченко, Павло Пивоваров,  
Ольга Гринченко, Дар'я Тютюкова, Раїса Плотнікова

## ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАПІВФАБРИКАТІВ ІЗ СИРУ КИСЛОМОЛОЧНОГО

**Актуальність теми дослідження.** Без упровадження інновацій виробники прирікають себе на поступову втрату конкурентних переваг. За цих умов усе більшого значення набуває розробка та впровадження інноваційних технологій, реалізація яких дозволяє підвищити ефективність функціонування харчових виробництв.

**Постановка проблеми.** В умовах розвитку сучасних форматів закладів ресторанного господарства використання напівфабрикатів різного ступеня готовності для виробництва кулінарної та кондитерської продукції є доцільним та економічно вигідним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У технології кулінарної продукції із сиру кисломолочного запроваджено низку новацій, що лежать у площині надання функціонально-фізіологічних властивостей, регулювання функціонально-технологічних властивостей сиру кисломолочного.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** На сьогодні не виявлено системних досліджень щодо обґрунтування технологічних параметрів виробництва напівфабрикатів із сиру кисломолочного та дослідження впливу технологічних чинників на їхні властивості.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження впливу технологічних чинників на структурно-механічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного на основі молока знежиреного декальцифікованого.

**Виклад основного матеріалу.** Визначено вплив технологічних чинників на фізико-хімічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного. Встановлено, що введення до складу напівфабрикатів солі кухонної приправ до незначного зменшення середнього діаметра білкових частинок, збільшення вологостримуючої здатності та ефективної в'язкості. За використання цукру білого середній діаметр білкових частинок підвищується порівняно з контролем, зменшується вологостримуюча здатність та ефективна в'язкість напівфабрикатів. Визначено, що термічна обробка за підвищених та низьких температур не чинить значного впливу на фізико-хімічні властивості розробленої продукції.

**Висновки відповідно до статті.** На підставі проведених досліджень розроблено рекомендації із використання напівфабрикату із сиру кисломолочного в технології кулінарної та кондитерської продукції.

**Ключові слова:** сир кисломолочний; напівфабрикат; декальцифікація; технологічні чинники.

Табл.: 4. Рис.: 6. Бібл.: 21.

**Актуальність теми дослідження.** В умовах зростання конкуренції на споживчих ринках, підвищення вартості енергоносіїв та дефіциті кваліфікованої робочої сили інновації потрібні підприємствам як чинник посилення конкурентних позицій на споживчому ринку. Без упровадження інновацій виробники прирікають себе на відставання і, як наслідок, поступову втрату конкурентних переваг. За цих умов упровадження нової технології в межах міжгалузевої кооперації «молочна промисловість – ресторанний бізнес» дасть можливість підвищити ефективність технологічних процесів, вивести на ринок напівфабрикати багатофункціонального призначення з високою харчовою та біологічною цінністю, тривалим строком зберігання, розширити асортимент і поліпшити забезпечення населення України високоякісною кулінарною продукцією.

**Постановка проблеми.** Харчова промисловість, у тому числі й ресторанний бізнес, є однією з галузей національної економіки України, яка в умовах економічної кризи не лише не знизилася обсягів виробництва, але і продовжує їх активно нарощувати. Модернізація вітчизняних закладів ресторанного господарства та підприємств харчової промисловості, упровадження інноваційних технологій та систем управління якістю та безпечністю, різноманітність бізнес-моделей (Foodservice, B2B, B2C, HoReCa), які функціонують у галузі, неможливо реалізувати без упровадження інновацій як чинника посилення конкурентних позицій на споживчому ринку. Аналітично підтверджено, що в умовах розвитку сучасних форматів закладів ресторанного господарства, використання напівфабрикатів різного ступеня готовності для виробництва кулінарної та кондитерської продукції є доцільним та економічно вигідним. Разом з тим їх успішне використання можливо лише за наявності обґрунтованих рекомендацій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Стрімкий розвиток та впровадження нових технологій напівфабрикатів та кулінарної продукції з сиру кисломолочного зумовлено всезростаючим сегментом споживачів і широким діапазоном їхніх потреб.

Аналіз літературних джерел [1-12] дозволив виявити, що на сьогодні здебільшого впроваджено інновацій, які стосуються кулінарної продукції на основі сиру кисломолочного, у той час як досліджень, які присвячено створенню саме напівфабрикатів, обмаль.

Так, одним із нововведень у технології продукції на основі сиру кисломолочного є використання в його складі препаратів, одержаних шляхом послідовного екстрагування біомаси мікроміцету. Відомі технології виробництва десертної продукції на основі сиру кисломолочного, де використовуються біомаси мікроміцету *Mortierella jenkinsii* [1] чи *Mortierella alpina* [2], чи *Mortierella humilis* [3], чи *Mortierella verticillata* [4]. Одним із напрямів розширення асортименту продукції на основі сиру кисломолочного є використання нетрадиційних інгредієнтів у її складі за умов комбінування різної за походженням сировини. Ученими [5] запропоновано введення до рецептурного складу сиркового десерту борошна із круп чи бобових, що міститься на рівні 0,3 %.

А. В. Міронова [6] розробила технологію молочно-солодового десерту функціонального призначення на основі сиру кисломолочного. Застосування ячмінно-солодового екстракту як складової частини продукту сприяє вирішенню актуальної проблеми сучасного молочно-виробництва – створення технологій нових комбінованих кисломолочних продуктів, які не містять цукру і мають підвищену харчову та біологічну цінність. Встановлено, що внесення ячмінно-солодового екстракту до сиру кисломолочного, як рецептурного компонента, знижує його кислотність на 17...20 % та підвищує вміст сухих речовин на 8...12 %.

Вагомими за останні роки є напрацювання щодо створення молочно-білкових концентратів із використанням йодовміщуючої сировини [7], технологій молочних продуктів функціонального призначення [8], структурованої кулінарної продукції з використанням концентратів сколотин [9], ресурсозберігаючих технологій молочних продуктів профілактичної дії [10], депонування іонів кальцію шляхом іонообмінної обробки [11], зміни властивостей казеїну під впливом технологічних чинників [12] та інших. Вищезазначені здобутки є теоретичним та експериментальним підґрунтям розвитку технологій харчової продукції із сиру кисломолочного.

Узагальнення літературних та інтернет-джерел [13–21] показує, що останніми роками в технології кулінарної продукції на основі сиру кисломолочного розроблено та запроваджено низку новацій для надання їй функціонально-фізіологічних властивостей. Так, фахівцями Київського національного торговельно-економічного університету [13] розроблено технологію чизкейків із використанням зернопродуктів – пшениці подрібненої, борошна горохового, соєвого, клітковини, висівок пшеничних та вівсяних, овочево-фруктових пюре. Науковцями встановлено збільшення кількості мінеральних речовин (заліза – на 125...130 %, кальцію – на 25...35 %, йоду – у 2,6...3,0 рази), вітамінів (фолієвої кислоти – на 82...90 %, біотину – на 45...50 %, нікотинової кислоти – на 4...50 %) порівняно з контролем за рахунок використання рослинних інгредієнтів [14].

Дослідженнями фахівців кафедри харчової біотехнології та хімії Тернопільського національного технічного університету ім. І. Пулюя [15] запропоновано використання лляної олії (як джерела омега-3 жирних кислот) у складі сиркової пасти. Експериментально доведено, що завдяки наявності лляної олії та кисломолочних мікроорганізмів (кількість  $4,7 \cdot 10^8$  КУО/г) новий продукт характеризується пробіотичними властивостями.

Фахівцями Харківського державного університету харчування та торгівлі [16] розроблено технології десертів із сиру кисломолочного підвищеної харчової цінності за рахунок використання дієтичної добавки «Гемовітал». Відзначено, що за умови споживання 100 г десерту забезпечується  $\frac{1}{3}$  добової потреби організму людини в гемовому залізі.

Авторами [17] розроблено молочно-рослинний збивний десерт на основі сиру кисломолочного з використанням чуфи та топінамбура, що дозволяє забезпечити наявність необхідних компонентів їжі для людей із порушеним вуглеводним обміном.

Науковцями Омського державного аграрного університету ім. П. А. Столипіна розроблено технологію пудингу на основі сиру кисломолочного, до складу якого входять вершки, сироп плодово-женьшеневий, стабілізаційна система СтабісолJTL, іммобілізована закваска пробіотичних культур виду LАТРВ АС-0, сир знежирений, одержаний із застосуванням ультрафільтрації. Установлено, що використання СтабісолJTL, що містить у своєму складі модифікований крохмаль (Е1422), желатин та гуар (Е412), підвищує харчову цінність та сприяє формуванню пластичної мазкої консистенції продукту [18].

Запатентовано використання як фаршу для вареників сиру кисломолочного, збагаченого морськими водоростями фукус для підвищення біологічної цінності продукту [19]. Відомий спосіб виробництва вареників лінивих із сиром кисломолочним з масовою часткою жиру 5 %. Як рослинний наповнювач, що має профілактичну дію, застосовують харчові волокна, одержані з хвостиків цукрових буряків, та стабілізатор (ячний порошок). Одержану масу витримують за температури 4...8 °С протягом (1,5...2)·60<sup>2</sup> с та заморожують [20].

Розроблено технології виробництва вареників із сиром кисломолочним та кунжутом «Сезам» та вареників лінивих «Сезам 1». Вони мають підвищений вміст кальцію, калію, магнію та олії [21].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Узагальнюючи аналіз наявних розробок у сфері технологій кулінарної продукції із сиру кисломолочного слід зазначити, що більшість із них стосується регулювання харчової цінності, у той час як притаманні сиру кисломолочному об'єктивні технологічні властивості – ущільнення білкового згустку, синерезис, низька вологоутримуюча здатність – не знайшли вирішення. Вирішити ці технологічні завдання можливо за рахунок використання напівфабрикатів із сиру кисломолочного, одержаного з молока знежиреного декальцифікованого (МЗД).

Разом з тим на сьогодні не виявлено системних досліджень щодо обґрунтування технологічних параметрів виробництва напівфабрикатів із сиру кисломолочного, в яких на етапі їх виробництва усунуто обмеження щодо їх використання в технології кулінарної продукції. Тому виникає об'єктивна необхідність створення напівфабрикатів, властивості яких модифіковано відповідно до вимог технологічного процесу виробництва кулінарної продукції закладів ресторанного господарства.

**Метою роботи** є дослідження впливу технологічних чинників на структурно-механічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного на основі молока знежиреного декальцифікованого як підґрунтя з розробки рекомендацій щодо його використання в технології кулінарної та кондитерської продукції.

**Виклад основного матеріалу.** Напівфабрикати із сиру кисломолочного є багатфункціональними за технологічним призначенням, що визначає необхідність дослідження їхніх органолептичних, фізико-хімічних, структурно-механічних властивостей за впливу технологічних чинників. Технологічний процес виробництва напівфабрикатів із сиру кисломолочного здійснювалитаким чином: до сиру кисломолочного, одержаного з молока знежиреного декальцифікованого, вводили молоко знежирене декальцифікованеза постійного перемішування протягом (5...7)×60 с за температури 4...6 °С та швидкості обертів робочого органу  $n = 25 \text{ с}^{-1}$  до утворення однорідної маси, у результаті чого одержували сирно-молочну суміш. Наступним етапом є одержання емульсійної пастоподібної структури, в межах якого до сирно-молочної суміші вводили олію соняшникову рафіновану дезодоровану та здійснювали емульгування в два етапи: на першому швидкість обертання робочого органу емульсаторстановить  $25 \text{ с}^{-1}$ , тривалість емульгування –

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

(7...10)×60 с, на другому –50 с<sup>-1</sup> та (2...3)×60 с відповідно. Надалі емульсійну систему охолоджували до 10...12 °С, фасували в пластикові ємності та маркували.

З огляду на визначені раціональні параметри одержання емульсійних систем на основі сиру кисломолочного з молока знежиреного декальцифікованого (СКД) (співвідношення СКД:МЗД як (90:10)...(70:30), вміст жирової складової 5...15 %) досліджено їхню ефективну в'язкість (рис. 1).

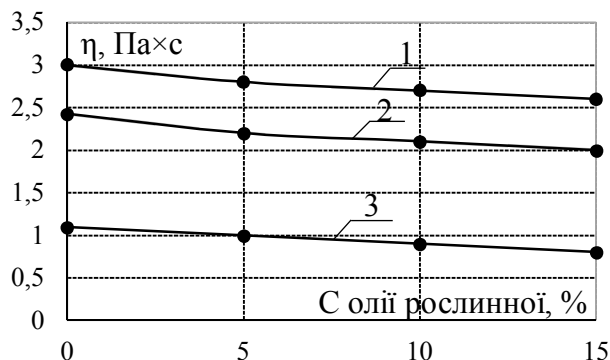


Рис. 1. Ефективна в'язкість емульсійних систем на основі сирно-молочних сумішей залежно від масової частки жиру в емульсії за співвідношення СКД:МЗД як: 1, 2, 3 – 90:10; 80:20; 70:30 (за  $\gamma = 260 \text{ c}^{-1}$ )

Видно, що залежно від співвідношення складових сирно-молочних сумішей та масової частки жиру їхня в'язкість коливається в достатньо широких межах – від  $(0,8 \pm 0,01) \text{ Па} \cdot \text{с}$  до  $(3,0 \pm 0,1) \text{ Па} \cdot \text{с}$ . З урахуванням відомих технологічних (масова частка сиру кисломолочного у складі напівфабрикатів, в'язкість та формостійкість як напівфабрикатів, так й продукції на їх основі), органолептичних (виражений смак сиру кисломолочного) та інших (харчова та біологічна цінність) показників рекомендовано до впровадження:

- напівфабрикати із сиру кисломолочного (співвідношення СКД:МЗД – від 90:10 до 80:20, масова частка жирової фази – 5...15 %) використовувати для виробництва запіканок, пудингів, сирників, сирних закусочних паст, печива, капкейків, тортів, чизкейків;
- напівфабрикати із сиру кисломолочного (співвідношення СКД:МЗД – 70:30, масова частка жирової фази – 5...15 %) використовувати для виробництва соусів для піци, салатів, других страв, оздоблювальних напівфабрикатів.

Використання напівфабрикатів з сиру кисломолочного для виробництва кулінарної та кондитерської продукції потребують дослідження впливу технологічних чинників на їх фізико-хімічні та технологічні властивості. Перелік рецептурних компонентів та способів температурної обробки, їх прогнозований вплив на властивості рецептурних сумішей на основі напівфабрикатів із сиру кисломолочного наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Рецептурні компоненти та способи температурної обробки, які плануються до застосування в технологічному процесі виробництва продукції на основі напівфабрикатів із сиру кисломолочного

Найменування рецептурних компонентів та технологічних чинників	Значення параметрів	Прогнозований вплив на
Сіль кухонна	0...1,5 %	- дисперсність білкових частинок; - вологоутримуючу здатність; - ефективну в'язкість; - органолептичні показники
Цукор білий	5...15 %	
Термообробка (пастеризація)	$t = 80...85 \text{ }^\circ\text{C}$ , $\tau = (15...20) \times 60 \text{ с}$	
Низькотемпературна обробка (заморожування)	$t = \text{мінус } (18...20) \text{ }^\circ\text{C}$ , $\tau = 30 \text{ діб}$	

Досліджено вплив рецептурних компонентів та способів температурної обробки на середній діаметр білкових частинок (рис. 2, табл. 2–4), вологоутримуючу здатність (рис. 3, 4) та ефективну в'язкість напівфабрикатів із сиру кисломолочного (рис. 5, 6).

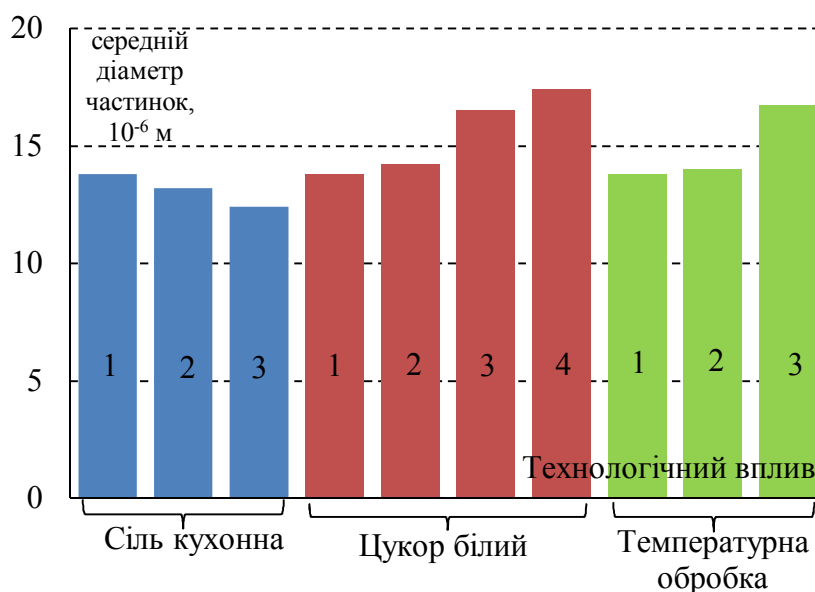


Рис. 2. Середній діаметр білкових частинок напівфабрикатів із сиру кисломолочного за впливу рецептурних компонентів та технологічних чинників (концентрація солі кухонної, %: 1 – 0; 2 – 0,5; 3 – 1,5; цукру білого, %: 1 – 0; 2 – 5; 3 – 10; 4 – 15; температурна обробка: 1 – без обробки; 2 – термообробка; 3 – низькотемпературна обробка)

Таблиця 2

Розподілення білкових частинок напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу солі кухонної

Розмір білкових частинок (L), мкм	Масова частка солі кухонної, %		
	0	0,5	1,5
≤10,0	45,7	49,9	57,4
10,0<L≤20,0	45,8	44,9	40,1
20,0<L≤30,0	6,5	3,7	2,2
30,0<L≤40,0	2,0	1,5	0,3
>40,0	–	–	–
Взагалі	100	100	100
Середній діаметр білкових частинок	13,8	13,2	12,4

Таблиця 3

Розподілення білкових частинок напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу цукру білого

Розмір білкових частинок (L), мкм	Масова частка цукру білого, %			
	0	5	10	15
≤10,0	45,7	44,2	37,7	36,7
10,0<L≤20,0	45,8	45,1	42,3	38,2
20,0<L≤30,0	6,5	7,8	9,5	12,2
30,0<L≤40,0	2,0	2,9	8,3	9,8
>40,0	–	–	2,2	3,1
Взагалі	100	100	100	100
Середній діаметр білкових частинок	13,8	14,2	16,5	17,4



Таблиця 4

Розподілення білкових частинок напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу температурної обробки

Розмір білкових частинок (L), мкм	Термообробка	Низькотемпературна обробка
≤10,0	44,5	38,7
10,0<L≤20,0	45,8	40,4
20,0<L≤30,0	6,9	9,9
30,0<L≤40,0	2,8	7,9
>40,0	–	3,1
Взагалі	100	100
Середній діаметр білкових частинок	14,0	16,7

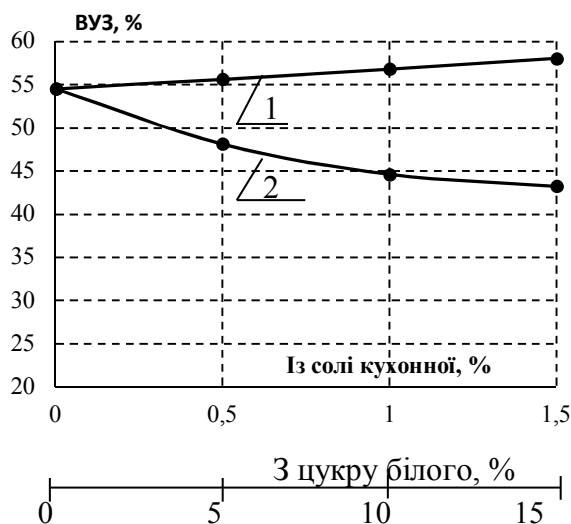


Рис. 3. ВУЗ напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу рецептурних компонентів: 1 – сіль кухонна; 2 – цукор білий

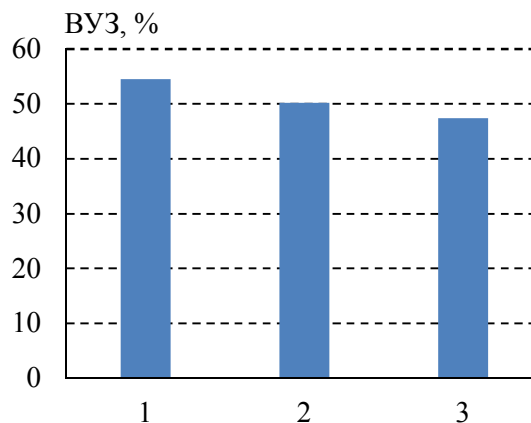


Рис. 4. ВУЗ напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу технологічних чинників: 1 – без обробки; 2 – термообробка; 3 – низькотемпературна обробка

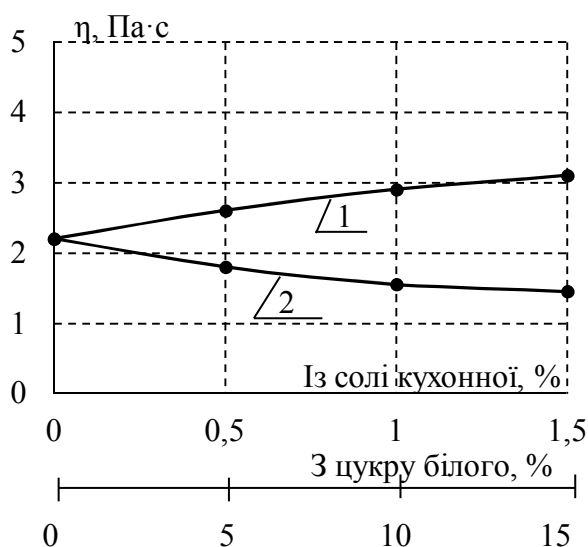


Рис. 5. Ефективна в'язкість напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу рецептурних компонентів: 1 – сіль кухонна; 2 – цукор білий (за  $\gamma = 260 \text{ c}^{-1}$ )

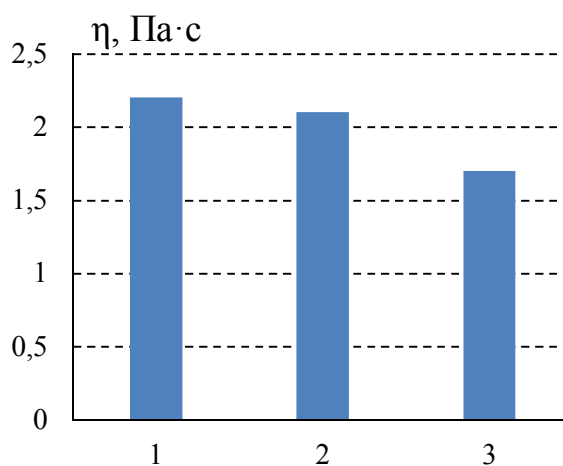


Рис. 6. Ефективна в'язкість напівфабрикату із сиру кисломолочного (масова частка жиру 10 %) за впливу технологічних чинників: 1 – без обробки; 2 – термообробка; 3 – низькотемпературна обробка (за  $\gamma = 260 \text{ c}^{-1}$ )

Аналіз даних, наведених на рис. 2, 3, 5, дозволяє визначити такі закономірності. Введення до складу напівфабрикатів солі кухонної призводить до незначного зменшення середнього діаметра білкових частинок (з  $(13,8 \pm 0,1)$  мкм до  $(12,4 \pm 0,1)$  мкм), збільшення вологоутримуючої здатності (з  $(54,5 \pm 1,0)$  % до  $(58,0 \pm 1,0)$  %) та ефективної в'язкості (з  $(2,2 \pm 0,1)$  Па·с до  $(3,1 \pm 0,1)$  Па·с). Вищезазначені зміни, вірогідно, відбуваються внаслідок того, що сіль кухонна, яка в дисперсійному середовищі утворює іонний розчин, змінює заряд білка на поверхні молекули та його конформацію, які забезпечують підвищену розчинність та більш високий ступінь гідратації. Унаслідок збільшення гідратної оболонки збільшується вологоутримуюча здатність та підвищується в'язкість напівфабрикатів із сиру кисломолочного.

За присутності цукру білого як рецептурного інгредієнта спостерігаються зміни у розподіленні білкових частинок напівфабрикату – зменшення масової частки білкових частинок з розмірами  $L \leq 20,0$  мкм за одночасного їх збільшення з розміром  $20 < L \leq 40$  мкм; за використання цукру білого в кількості 10 та 15 % виявлено частинки з розмірами  $L > 40$  мкм (2,2 та 3,1 % відповідно). Середній діаметр білкових частинок в інтервалі вмісту цукру 5...15 % підвищується у 1,1...1,3 раза порівняно з контрольним зразком.

Встановлено, що введення цукру білого суттєво впливає на вологоутримуючу здатність та ефективну в'язкість рецептурних сумішей. Так, у діапазоні концентрацій цукру білого, що досліджувався (5...15 %), виявлено зменшення вологоутримуючої здатності у 1,3 раза (з  $(54,5 \pm 1,0)$  % до  $(43,2 \pm 1,0)$  %), ефективної в'язкості – у 1,5 раза (з  $(2,2 \pm 0,1)$  до  $1,45 \pm 0,05$  Па·с). Виявлені закономірності зміни властивостей систем пояснюються тим, що цукор білий (як високогідрофільна речовина), утворюючи молекулярний розчин у дисперсійному середовищі, чинить суттєвий дегідратуючий вплив на білкові молекули, внаслідок чого зменшується гідратна оболонка, відокремлюється волога, що призводить до зменшення вологоутримуючої здатності та ефективної в'язкості напівфабрикатів із сиру кисломолочного.

Температурна обробка рецептурних сумішей на основі напівфабрикатів, яка передбачає високотемпературну обробку (варіння, смаження, запікання) як спосіб доведення до стану кулінарної готовності, так і низькотемпературну (заморожування) як спосіб зберігання, також впливає на властивості напівфабрикату й, безумовно, готової продукції на його основі. Експериментально встановлено, що термообробка за визначених параметрів практично не змінює середній діаметр білкових частинок ( $14,0 \pm 0,1$ ) мкм, несуттєво впливає на вологоутримуючу здатність ( $50,1 \pm 1,0$ ) % та ефективну в'язкість систем ( $2,1 \pm 0,1$ ) Па·с.

Декілька інший вплив на властивості систем чинить низькотемпературна обробка. Так, виявлено, що після заморожування ( $t = \text{мінус } (18...20) \text{ }^\circ\text{C}$ ) та зберігання протягом 30 діб і розморожування спостерігається погіршення всіх показників, що досліджувались. Виявлено, що середній діаметр білкових частинок збільшився у 1,2 раза (з  $(13,8 \pm 0,1)$  до  $(16,7 \pm 0,1)$  мкм), вологоутримуюча здатність зменшилась у 1,3 раза (з  $(54,5 \pm 1,0)$  до  $(41,9 \pm 1,0)$  %), ефективна в'язкість – у 1,3 раза (з  $(2,2 \pm 0,1)$  до  $(1,70 \pm 0,05)$  Па·с).

Вищезазначені зміни, на наш погляд, пояснюються тим, що під впливом низьких температур відбувається механічне пошкодження структури, що викликає утворення кристалів льоду, змінюється поверхневий гідратний шар білкових частинок, енаслідок чого посилюються агрегаційні взаємодії між білковими молекулами, що пояснює збільшення середнього розміру білкових частинок, зменшення вологоутримуючої здатності та ефективної в'язкості.

Визначені закономірності впливу технологічних чинників на властивості напівфабрикатів є підґрунтям із розробки обґрунтованих рекомендацій з його використання у складі кулінарної та кондитерської продукції.

**Висновки відповідно до статті.**

1. На підставі аналітичного огляду літератури визначено доцільність створення багатофункціональних напівфабрикатів із сиру кисломолочного з заданими технологічними властивостями, використання яких дозволить інтенсифікувати технологічний процес виробництва кулінарної продукції, одержати нові споживні властивості.

2. Досліджено ефективну в'язкість сирно-молочних сумішей за вмісту жирової фази 5...15 %. Визначено, що залежно від співвідношення складових сирно-молочних сумішей та масової частки жиру їхня в'язкість коливається від  $(0,80 \pm 0,01)$  до  $(3,0 \pm 0,1)$  Па·с. На основі одержаних даних надано рекомендації щодо технологічного використання напівфабрикатів із сиру кисломолочного в технології кулінарної та кондитерської продукції.

3. Досліджено вплив технологічних чинників на структурно-механічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного. Встановлено, що за введення до складу напівфабрикатів солі кухонної за вмісту 0,5...1,5 % середній діаметр білкових частинок зменшується з  $(13,8 \pm 0,1)$  до  $(12,4 \pm 0,1)$  мкм, збільшується вологоутримуюча здатність з  $(54,5 \pm 1,0)$  до  $(58,0 \pm 1,0)$  % та ефективна в'язкість з  $(2,2 \pm 0,1)$  до  $(3,1 \pm 0,1)$  Па·с.

4. Досліджено вплив цукру білого на властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного. Встановлено, що за введення цукру білого в кількості 5...15 % середній розмір білкових частинок збільшується у 1,1...1,3 раза, вологоутримуюча здатність зменшується у 1,3 раза та становить  $(43,2 \pm 1,0)$  %, ефективна в'язкість – у 1,5 раза (з  $(2,2 \pm 0,1)$  до  $(1,45 \pm 0,05)$  Па·с).

5. Досліджено вплив температурної обробки на структурно-механічні та технологічні властивості напівфабрикатів із сиру кисломолочного. Встановлено, що термообробка за температури 80...85 °С протягом  $(15...20) \times 60$  с незначним чином впливає на вологоутримуючу здатність та ефективну в'язкість систем та становить  $(50,1 \pm 1,0)$  % та  $(2,1 \pm 0,1)$  Па·с відповідно. За низькотемпературної обробки середній діаметр білкових частинок збільшується у 1,2 раза, порівняно з контролем, та становить  $(16,7 \pm 0,1)$  мкм, вологоутримуюча здатність знижується до  $(41,9 \pm 1,0)$  %, ефективна в'язкість – до  $(1,70 \pm 0,05)$  Па·с.

6. Розроблено рекомендації з використання напівфабрикатів із сиру кисломолочного в технології кулінарної та кондитерської продукції.

**Список використаних джерел**

1. Пат. 2213470 Россія, МПК<sup>7</sup> А 23 С 23/00 Спосіб производства творожного продукта / О. И. Квасенков, Е. А. Юшина ; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. техн. ун-т. – № 2002107374/13; заявл. 25.03.2002; опубл. 10.10.2003.

2. Пат. 2213469 Россія, МПК<sup>7</sup> А 23 С 23/00 Спосіб производства творожного продукта / А. А. Запорожский, О. И. Квасенков ; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. техн. ун-т. – № 2002107366/13; заявл. 25.03.2002; опубл. 10.10.2003.

3. Пат. 2210238 Россія, МПК<sup>7</sup> А 23 С 23/00 Спосіб производства творожного продукта / О. И. Квасенков ; заявитель и патентообладатель Кубан. гос. техн. ун-т № 2002107368/13; заявл. 25.03.2002; опубл. 20.08.2003.

4. Пат. 2210237 Россія, МПК<sup>7</sup> А 23 С 23/00 Спосіб производства творожного продукта / О. И. Квасенков, И. А. Квасенков; К. техн. ун-т № 2002107367/13 ; заявл. 25.03.2002; опубл. 20.08.2003.

5. Пат. 2228055 Россія, МПК<sup>7</sup> А 23 С 23/00. Творожный десерт / Е. Н. Артёмова, Н. И. Анпилогова ; заявитель и патентообладатель Орлов ГТУ № 2002114398/13; заявл. 31.05.2002; опубл. 10.05.2004.

6. Мінорова А. В. Розробка технології молочно-солодового десерту функціонального призначення : автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.04 / А. В. Мінорова ; НУХТ. – К., 2004. – 20 с.

7. Дейниченко Г. В. Технологія молочно-білкових запіканок з використанням йодовміщуючих водоростевих добавок : монографія / Г. В. Дейниченко, Л. Л. Івашина, Т. О. Колісниченко. – Х. : ХДУХТ, 2011. – 122 с.

8. Дідух Н. А. Наукові основи розробки технологій молочних продуктів функціонального призначення : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.16 / Н. А. Дідух ; ОНАХТ. – Одеса, 2008. – 491 с.
9. Юдіна Т. І. Наукове обґрунтування технологій структурованої кулінарної продукції з використанням концентратів сколотин : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.16 / Т. І. Юдіна ; КНТЕУ. – К., 2016. – 359 с.
10. Поліщук Г. Є. Формування складних дисперсних систем молочного морозива з натуральними компонентами : дис. ... д-ра техн. наук / Г. Є. Поліщук ; НУХТ. – К., 2013. – 437 с.
11. Fox P. F. Chemistry and biochemistry of cheese / P. F. Fox, T. Uniacke-Lowe, P. L. H. McSweeney, J. A. O'Mahony // Dairy Chemistry and Biochemistry. – Springer International Publishing, 2015. – С. 499–546.
12. Broyard C. Modifications of structures and functions of caseins: a scientific and technological challenge / C. Broyard, F. Gaucheron // Dairy science & technology. – 2015. – Т. 95. – №. 6. – Р. 831–862.
13. Пересічний М. І. Мінеральний склад чизкейків з використанням рослинної сировини / М. І. Пересічний, С. М. Пересічна, Н. В. Розумна // Харчова наука і технологія : науково-виробничий журнал. – 2014. – № 2 (27). – С. 6–9.
14. Пересічна С. М. Нутрієнтний склад чизкейків з використанням рослинної сировини / С. М. Пересічна, Н. В. Розумна // Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій «Нові ідеї в харчовій науці – нові продукти харчовій промисловості» 13–17 жовтня 2014 року. – К. : НУХТ, 2014. – С. 636.
15. Лялик А. Т. Розробка та дослідження кисломолочного продукту – сиркова паста з лляною олією під час зберігання / А. Т. Лялик // Науковий вісник ЛНУВМБС ім. С. З. Гжицького. – 2015. – Т. 17. – № 1 (61), ч. 4. – С. 55–60.
16. Дуденко Н. В. Наукові основи технології та системного використання харчових продуктів оздоровчої дії для різних верств населення : монографія / Н. В. Дуденко, Л. Ф. Павлоцька, В. О. Коваленко. – Х. : ХДУХТ, 2015. – 274 с.
17. Золовська О. В. Розробка технологій молочно-рослинних десертів профілактичного призначення : дис. ... канд. техн. наук / О. В. Золовська. – Одеса : ОНАХТ, 2013. – 186 с.
18. Вотинцев Ю. П. Изучение процесса структурообразования творожного десертного продукта (пудинга) / Ю. П. Вотинцев // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – Вып. № 2 (22). – С. 212–216.
19. Пат. 25548 Україна, МПК 2006 А21D 13/08. Спосіб виробництва вареників із молочним сиром та фукусом / В. Н. Корзун, І. Ю. Антонюк, О. В. Лещенко; заявник та патентокористувач Хар. Держ. Унів. Харч. та торгівлі. – № 2156781232; заяв. 12.04.2007; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 12.
20. Пат. 002246843 Россія, С2 МПК А23С23/00. Спосіб производства вареников ленивых / К. К. Полянский, Л. Э. Глаголева, Г. М. Смольский; заявитель и патентообладатель Вор. гос. техн. академия. – № 2246843; заяв. 20.02.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. 11.
21. Кацерикова Н. В. Разработка творожных изделий с кунжутом геродиетического направления [Електронний ресурс] / Н. В. Кацерикова, А. Н. Солопова, Ю. С. Липатова // Техника и технология пищевых производств. – 2011. – № 3 (22). – Режим доступа : <http://fptt.ru/stories/archive/22/22.pdf>.

### References

1. Kvasenkov, O. I., Iushina, E. A. (2003). Sposob proizvodstva tvorozhnogo produkta [Method for the production of a curd product]. Patent Ru № 2213470 [in Russian].
2. Zaporozhskii, A. A., Kvasenkov, O.I. (2003). Sposob proizvodstva tvorozhnogo produkta [Method for the production of a curd product]. Patent Ru № 2213469 [in Russian].
3. Kvasenkov, O.I. (2003). Sposob proizvodstva tvorozhnogo produkta [Method for the production of a curd product]. Patent Ru № 2210238 [in Russian].
4. Kvasenkov, O.I., Kvasenkov, I. A. (2003). Sposob proizvodstva tvorozhnogo produkta [Method for the production of a curd product]. Patent Ru № 2210237 [in Russian].
5. Artemova, E. N., Anpilogova, N. I. (2004). Tvorozhnyi desert [Curd dessert]. Patent Ru № 2228055 [in Russian].
6. Mironova, A. V. (2004). Rozrobka tekhnolohii molochno-solodovoho desertu funktsionalnoho pryznachennia [Development of technology of milk-malt dessert of functional purpose]. (Candidate's thesis). Kyiv [in Ukrainian].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

7. Deinychenko, H. V., Ivashyna, L. L., Kolisnychenko, T. O. (2011). *Tekhnolohiia molochno-bilkovykh zapikanok z vykorystanniam yodovmishchuiuchykh vodorostevykh dobavok* [The technology of milk-protein casseroles using iodine-containing algae supplements]. Kharkiv: KhSUFT [in Ukrainian].
8. Didukh, N. A. (2008). *Naukovi osnovy rozrobky tekhnolohii molochnykh produktiv funktsionalnogo pryznachennia* [Scientific bases of development of technology of dairy products of functional purpose]. (Doctor's thesis). Odesa: ONAKhT [in Ukrainian].
9. Yudina, T. I. (2016). *Naukove obgruntuvannia tekhnolohii strukturovanoï kulinarnoi produktsii z vykorystanniam kontsentrativ skolotyń* [Scientific substantiation of technologies of structured culinary products using concentrates of buttermilk]. (Doctor's thesis). Kyiv: KNTEU [in Ukrainian].
10. Polishchuk, H. Ye. (2013). *Formuvannia skladnykh dyspersnykh system molochnoho morozyva z naturalnymy komponentamy* [Formation of complex disperse systems of milk ice cream with natural components]. (Doctor's thesis). Kyiv: NUKhT [in Ukrainian].
11. Fox, P. F., Uniacke-Lowe, T., McSweeney, P. L. H., & O'Mahony, J. A. (2015). Chemistry and biochemistry of cheese. In *Dairy chemistry and biochemistry* (pp. 499–546). Springer, Cham.
12. Broyard, C., & Gaucheron, F. (2015). Modifications of structures and functions of caseins: a scientific and technological challenge. *Dairy science & technology*, 95 (6), 831–862 [in English].
13. Peresichnii, M. I., Peresichna, S. M., Rozumna, N. V. (2014). Mineralnii sklad chizkeikiv z vikoristanniam roslinnoi syrovyny [The mineral composition of cheesecake with using of vegetable raw materials]. *Kharchova nauka i tekhnolohiia: naukovo-virobnychii zhurnal – Food science and technology: research and production journal*, 2 (27), 6–9 [in Ukrainian].
14. Peresichna, S. M., Rozumna, N. V. (2014). Nutrientnij sklad chizkejki z vikoristanniam roslinnoi sirovini [Nutritional composition composition of cheesecake with using of vegetable raw materials]. Proceeding from *Mizhnarodna naukova konferentsiia, prisviachena 130-richchiiu Natsionalnogo universitetu kharchovykh tekhnolohii «Novi idei v harchovii nauki – novi produkti kharchovii promyslovosti» – New ideas in food science – new food industry: international scientific conference dedicated to the 130th anniversary of the National University of Food Technologies* (p. 636). Kyiv: NUHT, [in Ukrainian].
15. Lyalik, A. T. (2015). Rozrobka ta doslidzhennia kislomolochnogo produktu – sirkova pasta z llyanoyu olieyu pid chas zberigannya [Research and development of dairy products – cheese paste with linen oil during storage]. *Naukoviiu visnik LNUVMBS im. S. Z. Gzheikoho – Scientific Journal LNUVMBS im. S. Z. Gzheikoho*, 17 (1 (61)), part 4, 55–60 [in Ukrainian].
16. Dudenko, N. V., Pavlotska, L. F., Kovalenko, V. O. (2015). *Naukovi osnovy tekhnolohii ta systemnoho vykorystannia kharchovykh produktiv ozdorovchoi dii dlia riznykh verstv naselennia* [Scientific basis of technology and systematic use of food health action for different population groups]. Kharkiv: KhSUFT [in Ukrainian].
17. Zolovska, O. V. (2013). *Rozrobka tekhnolohii molochno-roslinnykh desertiv profilaktichnoho pryznachennia* [Development of technology for dairy and vegetable desserts for preventive purposes]. (Candidate's thesis). Odessa [in Ukrainian].
18. Votintcev, Iu. P. (2016). Izuchenie protsessa strukturoobrazovaniia tvorozhnogo desertnogo produkta (pudinga) [The study of the process of the formation of a curd dessert product (pudding)]. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta – Bulletin of Omsk State Agrarian University*, 2 (22), 212–216 [in Russian].
19. Korzun, V. N., Antoniuk, I. Yu., Leshchenko, O. V. (2007). *Sposib vyrobnytstva varenykiv iz molochnym syrom ta fukusom* [Method of producing dumplings with milk cheese and fucose]. Patent Ua no 25548 [in Ukrainian].
20. Polianskii, K. K., Glagoleva, L. E., Smolskii G. M. (2005). *Sposob proizvodstva varenykov lenivnykh* [Method of production of lazy dumplings]. Patent Ru no 2246843.
21. Katcerikova, N. V., Solopova, A. N., & Lipatova, Iu. S. (2011). Razrabotka tvorozhnykh izdelii s kunzhutom gerodieticheskogo napravleniia [Development of curd products with sesame of the gerodietic direction]. *Tekhnika i tekhnolohiia pishchevykh proizvodstv – Equipment and technology of food production*, 3 (22). Retrieved from <http://fptt.ru/stories/archive/22/22.pdf>.

UDC [637.146.3.002.62]:67.017

Natalia Grynchenko, Pavel Pyvovarov,  
Olga Grynchenko, Daria Tyutyukova, Raisa Plotnikova

## INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON STRUCTURAL-MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF SEMI-FABRICATES FROM LACTIC CHEESE

**Urgency of the research.** Without the introduction of innovations, manufacturers are doomed to lag behind, and as a consequence, they gradually lose their competitive advantages. Under these conditions, development and implementation of innovative technologies, realization of which enables to increase efficiency of food industry enterprises, is becoming increasingly important.

**Target setting.** The development of modern formats of catering facilities, the use of semi-finished products of various degrees of readiness for the production of culinary and confectionery products is feasible and cost-effective.

**Actual scientific researches and issues analysis.** In the technology of culinary products from lactic cheese products a number of innovations lying in the background of providing functional and physiological properties regulation of functional and technological properties of lactic cheese as a source raw material for the manufacture of culinary products.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** To the date, no systematic research substantiating technological parameters of the manufacture of semi-finished products from lactic cheese, and studying the influence of technological factors on their properties have been found.

**The research objective.** The purpose of the work is to study the influence of technological factors on structural-mechanical and technological properties of semi-finished products from lactic cheese based on decalcified non-fat milk.

**The statement of basic materials.** The influence of technological factors on the physical and chemical and technological properties of semi-finished products from cheese of sour milk is determined. It was established that the introduction of semi-finished salt of the kitchen leads to a slight decrease in the average diameter of protein particles, an increase in moisture retaining capacity and effective viscosity. With the use of white sugar, the average diameter of the protein particles increases as compared to control, decreasing the moisture content and the effective viscosity of the semi-finished products. It has been determined that thermal treatment at elevated and low temperatures does not have a significant effect on the physical and chemical properties of the products developed.

**Conclusions.** Based on the carried out research, scientifically based recommendations for the use of semi-finished products made from fermented lactic cheese in the technology of culinary and confectionery products have been developed.

**Keywords:** fermented lactic cheese; semi-finished product; decalcification; technological factors.

Table: 4. Fig.: 6. References: 21.

УДК [637.146.3.002.62]:67.017

Наталья Гринченко, Павел Пивоваров,  
Ольга Гринченко, Дарья Тютюкова, Раиса Плотникова

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ТВОРОГА

**Актуальность темы исследования.** Без внедрения инноваций производители обрекают себя на постепенную потерю конкурентных преимуществ. В этих условиях все большее значение приобретает разработка и внедрение инновационных технологий, реализация которых позволяет повысить эффективность функционирования пищевых производств.

**Постановка проблемы.** В условиях развития современных форматов предприятий ресторанного хозяйства использование полуфабрикатов разной степени готовности для производства кулинарной и кондитерской продукции целесообразно и экономически выгодно.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В технологии кулинарной продукции из творога внедрено ряд инноваций, которые направлены на улучшение функционально-физиологических свойств, регулирование функционально-технологических свойств творога.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** На сегодняшний день не выявлено системных исследований по обоснованию технологических параметров производства полуфабрикатов из творога и исследования влияния технологических факторов на их свойства.

**Постановка задачи.** Целью работы является исследование влияния технологических факторов на структурно-механические и технологические свойства полуфабрикатов из творога на основе молока, обезжиренного декальцифицированного.

**Изложение основного материала.** Определено влияние технологических факторов на физико-химические и технологические свойства полуфабрикатов из творога. Установлено, что введение в состав полуфабрикатов соли кухонной приводит к незначительному уменьшению среднего диаметра белковых частиц, увеличение влагоудерживающей способности и эффективной вязкости. При использовании сахара средний диаметр белковых частиц повышается по сравнению с контролем, уменьшается влагоудерживающая способность и эффективная вязкость полуфабрикатов. Определено, что термическая обработка при повышенных и низких температурах незначительно влияет на физико-химические свойства разработанной продукции.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*Выводы в соответствии со статьей. На основании проведенных исследований разработаны рекомендации по использованию полуфабриката из творога в технологии кулинарной и кондитерской продукции.*

*Ключевые слова: творог; полуфабрикат; декальцификация; технологические факторы.*

*Табл.: 4. Рис.: 6. Библ.: 21.*

**Гринченко Наталя Геннадіївна** – кандидат технічних наук, докторант, доцент кафедри технології м'яса, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Гринченко Наталья Геннадьевна** – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры технологии мяса, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Grynchenko Natalia** – PhD in Technical Sciences, Doctoral, Associate Professor of Department of Meat Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** tatagrin1201@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-8440-0727>

**Scopus Author ID:** 57190493950

**Пивоваров Павло Петрович** – доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Пивоваров Павел Петрович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии питания, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Pivovarov Pavel** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Full Professor of Department of Food technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9119-1225>

**Scopus Author ID:** 57190497342

**Гринченко Ольга Олексіївна** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Гринченко Ольга Алексеевна** – доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой технологии питания, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Grynchenko Olga** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Head of Department of Food technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-9867-5502>

**Scopus Author ID:** 56185455400

**Тютюкова Дар'я Олександрівна** – аспірант кафедри технології м'яса, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Тютюкова Дарья Александровна** – аспірант кафедры технологии мяса, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Tutyukova Daria** – PhD student of Department of Meat Technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** tutukova.d.o.hduht@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2514-4639>

**Плотнікова Раїса Валеріївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології харчування, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Плотникова Раиса Валерьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии питания, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Plotnikova Raisa** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Food technology, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkivska Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

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

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-4214-745X>

УДК 664.851:634.75

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-216-221

Ірина Заморська

**ОЦІНКА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЯГІД СУНИЦІ САДОВОЇ**

**Актуальність теми дослідження.** Суниця садова – популярна ягідна культура, плоди якої високо цінуються як сировина для заморожування, виробництва консервів та споживаються у свіжому вигляді охолодженими.

**Постановка проблеми.** Важливим завданням є дослідження технологічних властивостей ягід суниці, що істотно впливають на зміни маси ягід та їхню товарну оцінку під час зберігання, зумовлюють консистенцію консервів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологічні властивості ягід суниці формуються під час досягання під впливом генетичних особливостей сорту, абіотичних та агротехнологічних факторів, віку насаджень, черговості збирання врожаю та післязбиральної обробки.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проте недостатньо висвітлено питання формування технологічних властивостей ягід суниці залежно від помологічного сорту, абіотичних факторів, віку насаджень та черговості збирання врожаю.

**Постановка завдання.** Метою цієї роботи є встановлення технологічних властивостей, зокрема середньої маси, об'єму та густини ягід суниці садової сортів Русанівка, Фестивальна ромашка, Дукат, Хоней, Полка та Пегас.

**Виклад основного матеріалу.** Досліджували технологічні властивості ягід суниці садової сортів Русанівка, Фестивальна ромашка, Дукат, Хоней, Полка та Пегас за досягнення ними споживної стадії стиглості залежно від віку насаджень та черговості збирання врожаю.

Середня маса ягід суниці становила 6,9–15,1 г. Середній коефіцієнт варіації показника на рівні 12,9–13,4 % виявлено в ягодах сортів Полка та Русанівка, із середньою масою на рівні 7,3–10,0 г. Найвищі коливання мала середня маса ягід суниці сорту Хоней – 27,9 %. Дослідження середньої маси ягід суниці залежно від віку насаджень показали зниження рівня цього показника від найвищого в перший рік плодоношення до найнижчого наприкінці п'ятого року використання насаджень.

Об'єм ягід суниці суттєво змінювався і залежав від сорту, віку насаджень та черговості збору врожаю. Істотно вищим цей показник за період досліджень був у ягодах суниці Дукат та Пегас –10,2 та 14,6 см<sup>3</sup>. Густина ягід суниці коливалася в межах від 0,8 до 1 г/см<sup>3</sup>. Ягоди суниці сорту Хоней мали значно нижчу густину проти інших – 0,8 г/см<sup>3</sup>.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що технологічні властивості ягід суниці садової істотно залежать від сорту, віку насаджень та черговості збору ягід. Залежно від цих факторів середня маса ягід суниці становила 6,9–15,1 г, об'єм – 5,5–13,3 см<sup>3</sup>, густина – 0,8–1,0 г/см<sup>3</sup>. У молодих насадженнях та в перші три збори врожаю вказані характеристики ягід значно краці.

**Ключові слова:** технологічні властивості; середня маса; обсяг; щільність; суниця садова.

Табл.: 2. Рис.: 3. Бібл.: 6.

**Актуальність дослідження.** Суницю садову відносять до найбільш популярних ягідних культур завдяки високій харчовій і дієтичній цінності та прекрасним органолептичним властивостям [1; 2]. Ягоди суниці садової є цінною сировиною для заморожування, виробництва консервів та споживаються у свіжому вигляді охолодженими [3].

**Постановка проблеми.** Технологічні властивості ягід суниці садової зумовлюють їхню здатність до холодильного зберігання та консервування визначаються фізичними, структурно-механічними, анатомічними і хімічними показниками. Серед фізичних властивостей ягід суниці виділяють середню масу, об'єм, густину, що істотно впливають на зміни маси ягід та їхню товарну оцінку під час зберігання, зумовлюють консистенцію консервів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Технологічні властивості ягід суниці формуються під час досягання під впливом генетичних особливостей сорту, абіотичних та агротехнологічних факторів, віку насаджень, черговості збирання врожаю та післязбиральної обробки [4]. Встановлено, що для суниці споживний індекс плодів, який включає такі показники, як середня маса ягоди, вміст аскорбінової кислоти та поліфенольних речовин на 85,4 % визначають умови вирощування [5]. До основних чинників формування великих ягід суниці відносять помологічний сорт, умови зволоження та поєднання інших факторів [6].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Проте в науковій літературі недостатньо висвітлено питання формування технологічних властивостей ягід суниці залежно від помологічного сорту, абіотичних факторів, віку насаджень та черговості збирання врожаю.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є встановлення технологічних властивостей, зокрема середньої маси, об'єму та густини ягід суниці садової сортів Русанівка, Фестивальна ромашка, Дукат, Хоней, Полка та Пегас.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Виклад основного матеріалу.** Дослідження технологічних властивостей ягід суниці садової проводили у 2009–2015 рр. на кафедрі технології зберігання і переробки плодів та овочів Уманського національного університету садівництва з ягодами суниці Русанівка, Фестивальна ромашка, Дукат, Хоней, Полка та Пегас за досягнення ними споживної стадії стиглості залежно від віку насаджень та черговості збору врожаю. Стадію споживної стиглості ягід суниці встановлювали за ГОСТ 6828. Середню масу ягід суниці садової визначали зважуванням, об'єм – за кількістю витісненої води при зануренні в мірний циліндр; густину – відношенням маси ягід до їхнього об'єму.

Статистичний аналіз здійснювали програми StatSoft STATISTICA 6.1.478 Russian, Enterprise Single User (2007).

Середня маса ягід суниці за період досліджень коливалася у широких межах та істотно залежала від сорту та віку насаджень (табл. 1, рис. 1).

Таблиця 1

Середня маса ягід суниці (II збір)

Сорт	Роки досліджень	Діапазон змін за роками, г	Середнє, г	Коефіцієнт варіації, %
Фестивальна ромашка	2009–2012	6,9–10,1	8,1±1,45	17,9
Дукат	2009–2015	8,2–13,7	10,1±1,84	18,2
Хоней	2009–2015	6,5–13,8	8,7±2,43	27,9
Полка	2009–2015	8,0–11,6	10,0±1,34	12,9
Пегас	2012–2015	14,0–15,1	14,6±0,46	3,1
Русанівка	2011–2015	6,9–9,0	7,3±0,98	13,4
Середнє		8,4–12,2		–
НІР <sub>05</sub>		0,4		–

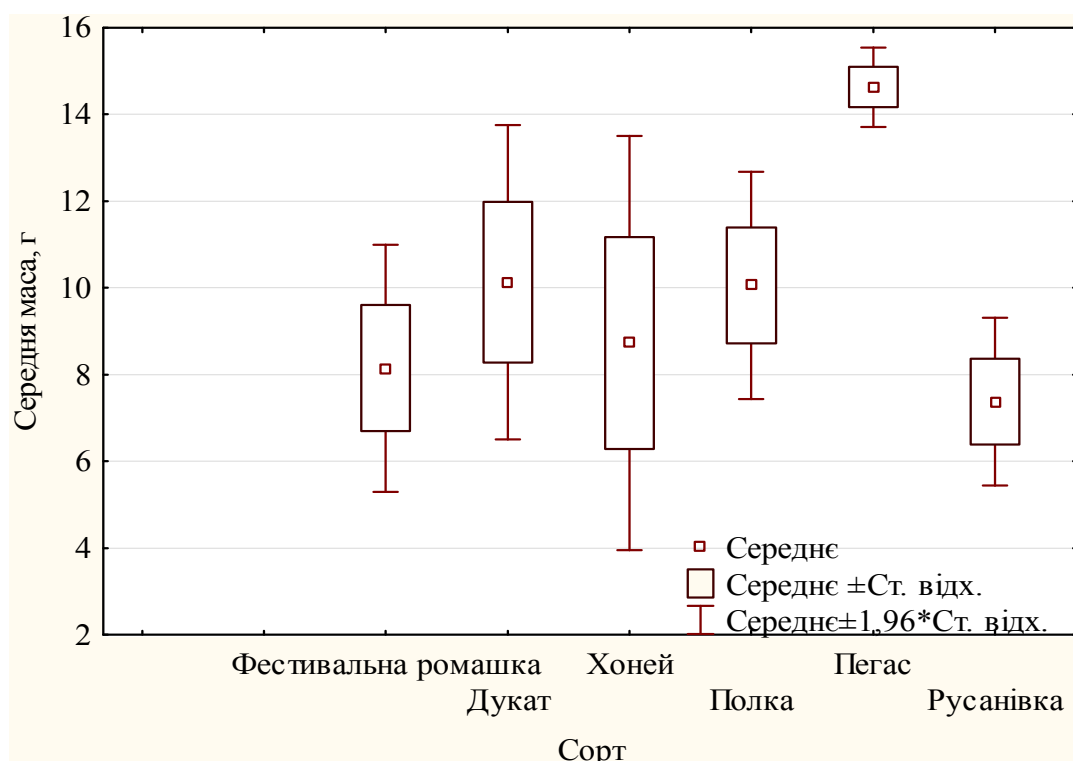


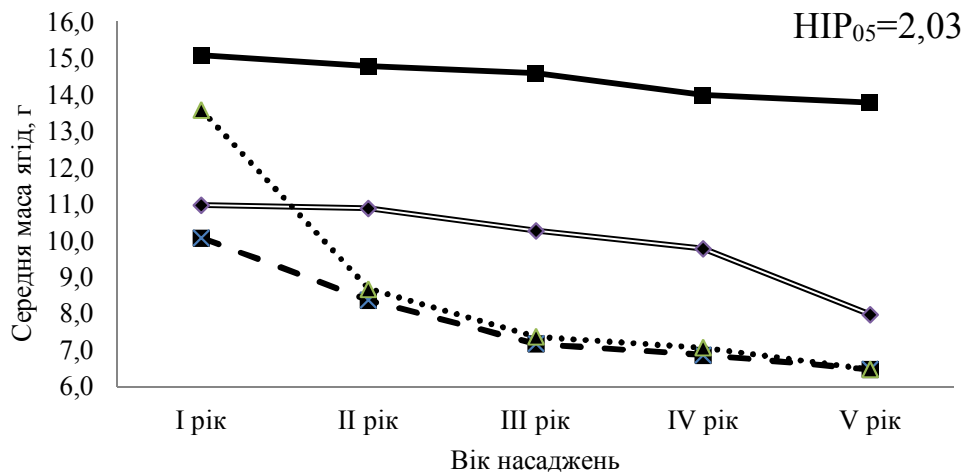
Рис. 1. Діаграма розмаху середньої маси ягід суниці

Найнижчий коефіцієнт варіації спостерігався в ягодах сорту Пегас – 3,1 %, де середня маса протягом періоду досліджень становить 14,0–15,1 г.

Середній коефіцієнт варіації показника на рівні 12,9–13,4 % виявлено в ягодах сортів Полка та Русанівка, де середня маса встановлена на рівні 7,3–10,0 г. В ягодах сортів Фес-

тивальна ромашка та Дукат показник середньої маси коливався в більш широких межах – 17,9–18,2 %. Найвищі коливання мала середня маса ягід суниці сорту Хоней – 27,9 %.

Дослідження середньої маси ягід суниці залежно від віку насаджень показали зниження рівня цього показника від найвищого в перший рік плодоношення до найнижчого наприкінці п'ятого року використання насаджень (рис. 2).



—■— - Фестивальна ромашка; —■— - Пегас; ...▲... - Хоней; —◆— - Полка

Рис. 2. Середня маса ягід суниці залежно від віку насаджень, г

Різке зниження середньої маси на другий рік плодоношення мали ягоди суниці сортів Хоней та Фестивальна ромашка. Тоді як у наступні роки плодоношення насаджень зниження середньої маси ягід було хоч і поступовим, проте істотним. У ягодах сортів Полка та Пегас протягом п'яти років експлуатації насаджень спостерігалось поступове зниження їхньої середньої маси.

Середня маса ягід суниці зазнавала істотних змін і від черговості збору ягід (рис. 3).

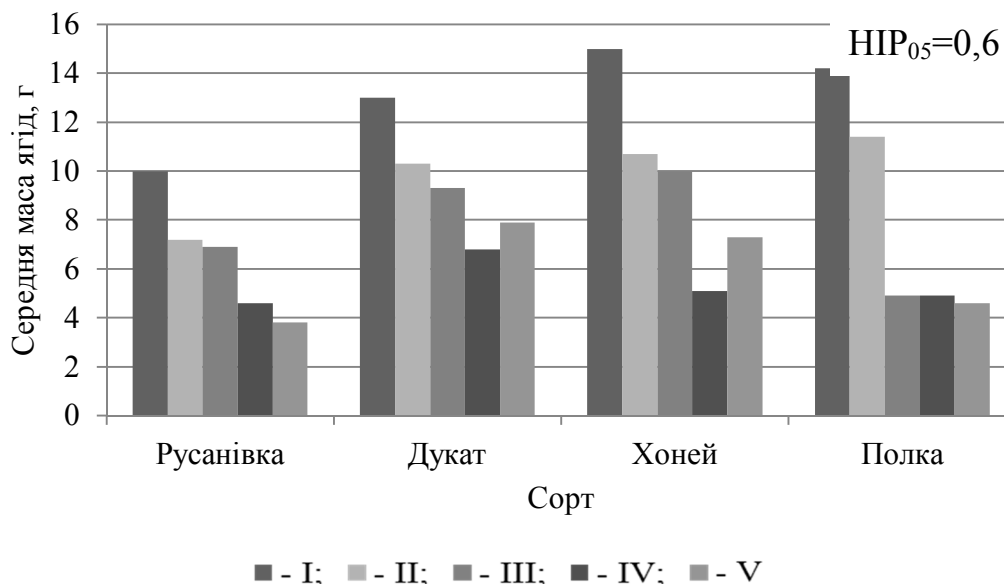


Рис. 3. Середня маса ягід суниці залежно від черговості збору врожаю, г

Так, вказаний показник у першій збір врожаю досягав свого найвищого значення, тоді як у наступні збори поступово знижувався до найнижчих своїх значень за п'ятого збору врожаю. Слід відзначити, що в ягодах сортів Хоней та Полка спостерігалось різке зниження середньої маси ягід після першого збору врожаю.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Важливим показником якості суниці є їхній об'єм, від якого істотно залежить густина, і, як наслідок, консистенція ягід (табл. 2).

Таблиця 2

*Об'єм та густина ягід суниці*

Сорт	Роки досліджень	Об'єм, см <sup>3</sup>	Густина, г/см <sup>3</sup>
Фестивальна ромашка	2009–2012	<u>6,7–9,7</u> 7,9	<u>1,03–1,04</u> 1,02
Дукат	2009–2015	<u>8,1–13,4</u> 10,2	<u>1,01–1,02</u> 1,0
Хоней	2009–2015	<u>5,5–13,3</u> 8,3	<u>1,04–1,2</u> 0,8
Полка	2009–2015	<u>7,4–11,3</u> 9,9	<u>1,03–1,08</u> 1,01
Пегас	2012–2015	<u>14,3–15</u> 14,6	<u>0,98–1,0</u> 1,0
Русанівка	2011–2015	<u>6,5–8,5</u> 7,3	<u>1,06–1,06</u> 1,0
НІР <sub>05</sub>		0,7	0,1

Протягом періоду досліджень об'єм ягід суниці суттєво змінювався і залежав від сорту, віку насаджень та черговості збору врожаю. Істотно вищим цей показник за період досліджень був у ягодах суниці Дукат та Пегас – 10,2 та 14,6 см<sup>3</sup>. Значно нижчі показники об'єму ягід мали сорти Русанівка та Фестивальна ромашка – 7,3 та 7,9 см<sup>3</sup>.

Густина ягід суниці коливалась у межах від 0,8 до 1 г/см<sup>3</sup>. Ягоди суниці сорту Хоней мали значно нижчу густину проти інших – 0,8 г/см<sup>3</sup>. Густина ягід суниці Полка та Фестивальна ромашка встановлена на рівні 1,01–1,02 г/см<sup>3</sup>, тоді як у ягодах інших сортів вона не перевищила значення 1 г/см<sup>3</sup>.

**Висновки відповідно до статті.** Встановлено, що технологічні властивості ягід суниці садової істотно залежать від сорту, віку насаджень та черговості збору ягід. Залежно від цих факторів середня маса ягід суниці становила 6,9–15,1 г, об'єм – 5,5–13,3 см<sup>3</sup>, густина – 0,8–1,0 г/см<sup>3</sup>. У молодих насадженнях та у перші три збори врожаю вказані характеристики ягід значно кращі.

**Список використаних джерел**

1. Копылов В. И. Земляника : пособие / В. И. Копылов. – Симферополь : ПолиПРЕСС, 2007. – 368 с.
2. Марковський В. С. Ягідні культури в Україні : навчальний посібник / В. С. Марковський, М. І. Бахмат. – Кам'янець-Подільський : ПП «Медобори-2006», 2008. – 200 с.
3. Influence of cultivar and storage conditions in anthocyanin content and radical-scavenging activity of strawberry jams [Electronic resource] / L. F. Amaro, M. T. Soares, C. Pinho, I. F. Almeida, I. M. P. L. V. O. Ferreira, O. Pinho//World Academy of Science, Engineering and Technology. –2012. – Vol. 69. – Access mode : <http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/65316/2/8676.pdf>.
4. Kader A. A. Postharvest technology of horticultural crops / A. A. Kader. – University of California Agriculture and Natural Resources. – 2002. – Т. 3311.
5. Шевчук Л. М. Інтегрований показник споживчої цінності плодів ягідних культур [Електронний ресурс] / Л. М. Шевчук. – Режим доступу : [http://nd.nubip.edu.ua/2015\\_1/6.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2015_1/6.pdf).
6. Павлюк В. В. Новий сорт суниці садової (FRAGARIA ANANASSA L.) [Електронний ресурс] / В. В. Павлюк, Л. М. Шевчук, Н. В. Павлюк. – Режим доступу : [http://http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Sadivnystvo/2009\\_62/10.pdf](http://http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Sadivnystvo/2009_62/10.pdf).

**References**

1. Kopylov, V. I. (2007). *Zemlianka [Strawberry]*. Simferopol: PoliPRESS [in Ukrainian].
2. Markovskiy, V. S. & Bakhmat, M. I. (2008). *Yahidni kultury v Ukraini [Berry crops in Ukraine]*. Kamianets-Podilskiy: PP „Medobory-2006” [in Ukrainian].

3. Amaro, L. F., Soares, M. T., Pinho, C., Almeida, I. F., Ferreira, I. M. P. L. V. O. & Pinho O. (2012). Influence of cultivar and storage conditions in anthocyanin content and radical-scavenging activity of strawberry jams. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 69, 118-122. Retrieved from <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/65316/2/47988.pdf>.

4. Kader, A. A. (2002). *Postharvest technology of horticultural crops*. University of California Agriculture and Natural Resources, T. 3311.

5. Shevchuk, L. M. (2015). *Intehrovanii pokaznyk spozhyvchoi tsnnosti plodiv yahidnykh kultur [Integrated index of consumer value of fruit berries]*. Retrieved from [http://nd.nubip.edu.ua/2015\\_1/6.pdf](http://nd.nubip.edu.ua/2015_1/6.pdf).

6. Pavliuk, V. V., Shevchuk, L. M., Pavliuk, N. V. (2009). *Novii sort sunieii sadovoi (FRAGARIA ANANASSA L.) [The new variety of strawberry (FRAGARIA ANANASSA L.)]*. Retrieved from [http://http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Sadivnystvo/2009\\_62/10.pdf](http://http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Sadivnystvo/2009_62/10.pdf).

UDC 664.851:634.75

Iryna Zamorska

### EVALUATION OF GARDEN STRAWBERRIES' TECHNOLOGICAL PROPERTIES

**Urgency of the research.** Garden strawberry is a popular small fruit crop, whose fruits are highly valued as raw material for freezing, canning and consumption in a fresh refrigerated state.

**Target setting.** Important task is to research technological properties of strawberry fruits, that substantially influence the change in berries weight, their market value during storage, and define consistency of preserves.

**Actual scientific researches and issues analysis.** Technological properties of strawberry fruits are formed during ripening under the influence of genetic properties of a cultivar, abiotic and agrotechnological factors, age of plantations, sequence of harvest and post-harvest treatment.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** However, the issue about the formation of technological properties of strawberry fruits depending on the pomological cultivar, abiotic factors, age of plantations and sequence of harvest hasn't been sufficiently clarified.

**The research objective.** The objective of the present investigation is to define technological properties such as average weight, volume and density of strawberry cultivars Rusanivka, Festyvalna Romashka, Dukat, Honey, Polka and Pegas.

**The statement of basic materials.** Technological properties of garden strawberries of the following cultivars Rusanivka, Festyvalna Romashka, Dukat, Honey, Polka and Pegas were researched when they reached economic maturity depending on the age of plantations and sequence of harvest.

Average weight of strawberry fruit made up 6.9–15.1 g. Average coefficient of variation at the level of 12.9–13.4 % was found in the fruits of Polka and Rusanivka cultivars with average weight at the level of 7.3–10.0 g. Average weight of strawberry fruits of Honey cultivar had the highest fluctuation – 27.9 %. Investigation of average weight of strawberry fruits depending on the age of plantations showed the decline of this parameter from the highest in the first year of fruit bearing to the lowest level at the end of the fifth year of using plantations.

The volume of fruits changed substantially and depended on the cultivar, the age of plantations and the sequence of harvest. During the research this parameter was considerably higher in the fruits Dukat and Pegas – 10,2 and 14,6 cm<sup>3</sup> respectively.

The density of strawberry fruits fluctuated within 0.8 and 1 g/cm<sup>3</sup>. The fruits of Honey cultivar had considerably low density compared to other cultivars – 0.8 g/cm<sup>3</sup>.

**Conclusions.** It is established that technological properties of garden strawberry fruits considerably depend on the cultivar, the age of plantations and the sequence of harvest. Depending on these factors the average weight of berries was 6.9–15.1 g, volume made up 5.5–13.3 cm<sup>3</sup>, and density was 0.8–1.0 g/cm<sup>3</sup>. Above mentioned properties of berries are sufficiently higher in young plantations and in the first three years of harvest.

**Keywords:** technological properties; average weight; volume; density; garden strawberry.

Fig.: 2. Table: 3. References: 6.

УДК 664.851:634.75

Ирина Заморская

### ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЯГОД ЗЕМЛЯНИКИ САДОВОЙ

**Актуальность темы исследования.** Земляника садовая – популярная ягодная культура, плоды которой высоко ценятся в качестве сырья для замораживания, производства консервов и потребляются в свежем виде охлажденными.

**Постановка проблемы.** Важной задачей является исследование технологических свойств ягод земляники, существенно влияющих на изменения массы ягод и их товарную оценку во время хранения, обуславливают консистенцию консервов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Технологические свойства ягод земляники формируются во время созревания под влиянием генетических особенностей сорта, абиотических и агротехнологических факторов, возраста насаждений, очередности уборки и послеуборочной обработки.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Однако недостаточно освещены вопросы формирования технологических свойств ягод земляники в зависимости от помологического сорта, абиотических факторов, возраста насаждений и очередности уборки урожая.

**Постановка задачи.** Целью настоящей работы является установление технологических свойств, таких как средняя масса, объем и плотность ягод земляники садовой сортов Русановка, Фестивальная ромашка, Дукат, Хоней, Полка и Пегас.

**Изложение основного материала.** Исследовали технологические свойства ягод земляники садовой сортов Русановка, Фестивальная ромашка, Дукат, Хоней, Полка и Пегас по достижению ими потребительской стадии зрелости в зависимости от возраста насаждений и очередности уборки урожая.

Средняя масса ягод земляники составляла 6,9–15,1 г. Средний коэффициент вариации показателя на уровне 12,9–13,4 % выявлено в ягодах сортов Полка и Русановка, со средней массой на уровне 7,3–10,0 г. Самые высокие колебания имела средняя масса ягод земляники сорта Хоней – 27,9 %. Исследование средней массы ягод земляники в зависимости от возраста насаждений показали снижение уровня этого показателя от самого высокого в первый год плодоношения до самого низкого в конце пятого года использования насаждений.

Объем ягод земляники существенно менялся и зависел от сорта, возраста насаждений и очередности сбора урожая. Существенно выше этот показатель в период исследований был у ягод земляники Дукат и Пегас – 10,2 и 14,6 см<sup>3</sup>.

Плотность ягод земляники колебалась в пределах от 0,8 до 1 г/см<sup>3</sup>. Ягоды земляники сорта Хоней имели плотность значительно ниже – 0,8 г/см<sup>3</sup>.

**Выводы в соответствии со статьей.** Установлено, что технологические свойства ягод земляники садовой существенно зависят от сорта, возраста насаждений и очередности сбора ягод. В зависимости от этих факторов средняя масса ягод земляники составляла 6,9–15,1 г, объем – 5,5–13,3 см<sup>3</sup>, плотность – 0,8–1,0 г/см<sup>3</sup>. В молодых насаждениях и в первые три срока сбора урожая указанные характеристики ягод значительно лучше.

**Ключевые слова:** технологические свойства; средняя масса; объем; плотность; земляника садовая.

Табл.: 2. Рис.: 3. Библ.: 6.

**Заморська Ірина Леонідівна** – кандидат сільськогосподарських наук, 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 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 of Department of Technology Storage and Processing of Fruits and Vegetables, Uman national university of horticulture (1 Institutaska Str., 20305 Uman, Ukraine).

**E-mail:** zil197608@gmail.com.

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-2767-1176>

УДК 544.77.051.1:664.849

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-222-227

Інна Золотухіна

## ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ДИСПЕРГУВАННЯ КОМПОНЕНТІВ НАПІВФАБРИКАТІВ БІЛКОВО-ВУГЛЕВОДНИХ ІЗ ПЮРЕ МОРКВИ

**Актуальність теми дослідження.** Розширення асортименту продуктів харчування, підвищення їхньої біологічної цінності, а також створення продуктів нового покоління, які б відповідали вимогам здорового харчування, є актуальною проблемою. Одним із напрямків реалізації цієї проблеми є розробка технологій виробництва молочно-білкових напівфабрикатів на основі копреципітату зі сколотин із додаванням овочевої складової.

**Постановка проблеми.** Запропонована нами технологія приготування молочно-білкових напівфабрикатів із додаванням пюре моркви передбачає отримання кінцевого продукту однорідної консистенції. З метою спрощення процесу виготовлення напівфабрикатів запропоновано розглянути можливість проведення процесу сумісного диспергування його компонентів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розглянуто останні публікації у відкритому доступі щодо визначення показників консистенції пластичних систем.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Одним із ключових чинників, що формує параметри відповідності харчової системи до властивостей, які від неї очікують, виступає спосіб оптимізації подрібнення її рецептурних складових.

**Постановка завдання.** Для вирішення задачі оптимізації необхідно провести дослідження диспергування маси напівфабрикатів від тривалості (ступеня) здрибнювання і виду встановленого ножа.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто питання визначення граничної напруги зсуву компонентів напівфабрикатів білково-вуглеводних з метою оптимізації сумісного диспергування молочно-білкової та овочевої складових.

**Висновки відповідно до статті.** Визначено оптимальний час диспергування напівфабрикатів молочно-білкових із пюре моркви.

**Ключові слова:** сколотини; молочно-білковий концентрат; пюре моркви; подрібнювач; оптимізація; диспергування.

Рис.: 2. Бібл.: 11.

**Актуальність теми дослідження.** Розширення асортименту продуктів харчування, підвищення їхньої біологічної цінності, а також створення продуктів нового покоління, які б відповідали вимогам здорового харчування, є актуальною проблемою. Одним із напрямків реалізації цієї проблеми є розробка технологій виробництва молочно-білкових напівфабрикатів на основі копреципітату зі сколотин із додаванням овочевої складової.

**Постановка проблеми.** Як один зі шляхів вирішення проблеми дефіциту білка нами запропоновано залучення білково-вуглеводної молочної сировини (БВМС) у харчовий баланс, зокрема використання сколотин та їх похідних у виробництві десертної продукції в закладах ресторанного господарства.

Молочні продукти посідають важливе місце в раціоні людини. У теперішній час велика увага приділяється багатокомпонентним структурованим продуктам, що виготовлені на основі БВМС. Такі продукти мають високу харчову цінність, оптимальний амінокислотний склад та високу засвоюваність [1].

У нашій роботі основну увагу приділено розробці функціональних продуктів, зокрема молочно-білкових напівфабрикатів, на основі копреципітату зі сколотин. Розглянуто можливість підвищення харчової цінності продукту за рахунок збагачення його вітамінами та іншими речовинами, джерелом яких є рослинна сировина. Рослинні наповнювачі використовували не тільки як джерело вітамінів, мінеральних речовин, полісахаридів, баластних речовин, але і як натуральне джерело смакових, ароматичних речовин та кольору, що дозволяє виключити використання штучних ароматизаторів та красителів.

Аналіз хімічного складу показав, що додавання рослинних компонентів до молочно-білкових напівфабрикатів, дозволяє збагатити його баластними та мінеральними речовинами, а також вітамінами.

Отже, нами було розроблено технологію приготування напівфабрикатів молочно-білкових із додаванням рослинної сировини, зокрема пюре моркви (НБВМ) [2], що є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Для визначення консистенції отриманих напівфабрикатів, яким притаманні пластичні властивості, зручно використовувати показник

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

граничної напруги зсуву (ГНЗ). Порівняно зі зміною величин інших реологічних властивостей, ГНЗ найбільш чутливий показник до зміни технологічних і механічних факторів [3].

Як свідчать дослідження [4; 5] величина ГНЗ для різних видів ковбасного фаршу при зміні вологості на 1 % змінюється на 10–15 % і більше, якщо числові значення інших властивостей зазнають незначних змін. Аналогічні залежності спостерігаються в разі зміни змісту жиру та ступеня подрібнення фаршів [4]. Відповідно параметр, за яким достовірно можна судити про консистенцію і якісні характеристики пластичних пастоподібних та фаршевих напівфабрикатів, є ГНЗ. Цей показник можна використовувати для оцінки фаршів та напівфабрикатів із пластичною структурою в процесі їх виготовлення.

Як свідчать літературні джерела, еталонні показники ГНЗ для ковбасних фаршів коливаються від 450 Па для свинячих сардельок до 700 Па для ковбаси любительської [6]. Для фаршевих напівфабрикатів з рослинної сировини оптимальні показники ГНЗ лежать у межах від 100 до 700 Па [7]. Проведені автором [8] дослідження свідчать, що ГНЗ пастоподібних виробів на основі кислого сиру становить 370...490 Па. Дослідження ГНЗ фаршу на основі білка молочного харчового свідчать, що цей показник змінюється в інтервалі 380...630 Па, залежно від кількості молочного білка [5]. Доцільним інтервалом ГНЗ для молочно-білкових фаршів автор [9] обрав інтервал 300...500 Па. Для фаршів із рибної сировини зазначається, що доцільний інтервал ГНЗ, за якого з фаршів добре формуються штучні напівфабрикати, становить 500...700 Па [10]. Зважаючи на наведені дані, ми приймаємо обмеження для ГНЗ, напівфабрикатів, що проектуємо, в інтервалі 450...700 Па.

Запропонована нами технологія приготування молочно-білкових напівфабрикатів із додаванням овочевої складової передбачає отримання кінцевого продукту однорідної консистенції. З метою спрощення процесу виготовлення НБВМ нами була розглянута можливість проведення процесу сумісного диспергування його компонентів.

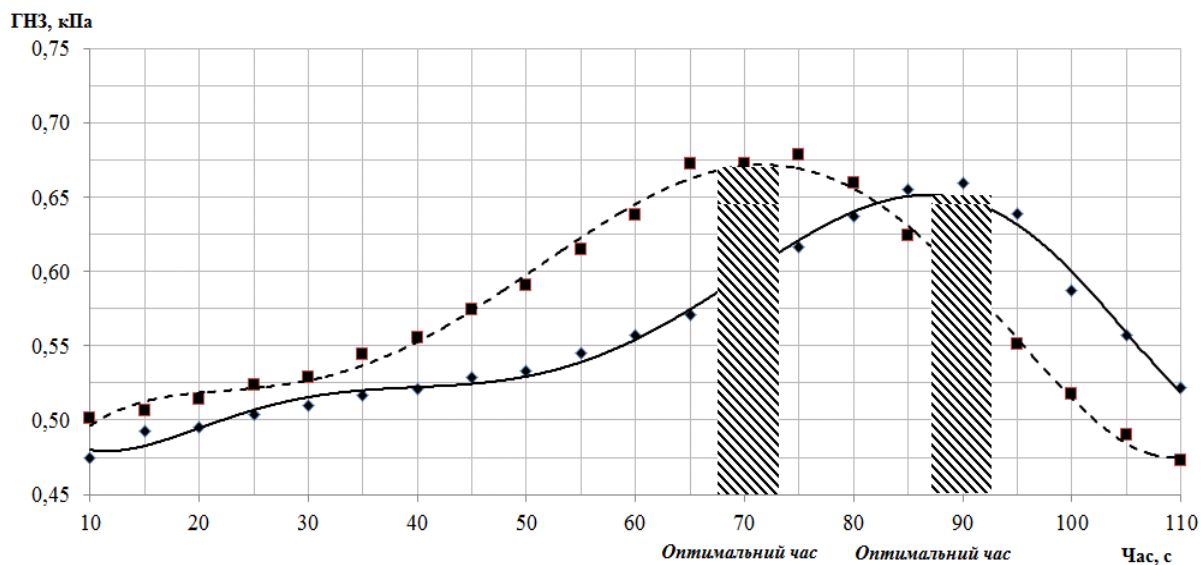
**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Одним із ключових чинників, що формує параметри відповідності харчової системи до властивостей, які від неї очікують, виступає спосіб оптимізації подрібнення її рецептурних складових. Для вирішення задачі оптимізації необхідно провести дослідження диспергування маси напівфабрикатів від тривалості (ступеня) здрібнювання і виду встановленого ножа.

**Мета статті.** Головною метою цієї роботи є оптимізація процесу диспергування маси напівфабрикату молочно-білкового з додаванням пюре моркви від тривалості (ступеня) здрібнювання і виду встановленого ножа подрібнювача.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження процесу диспергування нами було обрано подрібнювач ROBOT COUPE R2 з робочою камерою 2,9 дм<sup>3</sup> та частотою обертання леза 1500 об/хв, який часто використовують у закладах ресторанного господарства. Подрібнювач комплектується ножами з гладким та рифленими лезами.

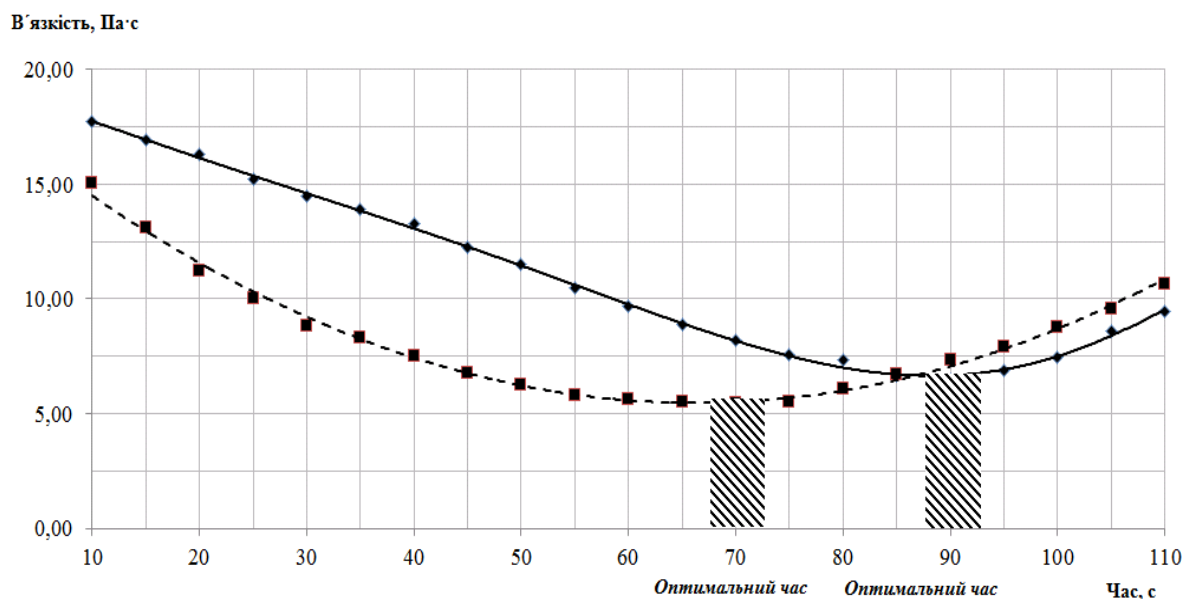
Визначали зміну комплексних реологічних характеристик напівфабрикатів від тривалості (ступеня) здрібнювання і виду встановленого ножа. У процесі здрібнювання відбирали проби напівфабрикатів для визначення реологічних і технологічних характеристик. Відбір проб починали після 10 секунди здрібнювання, коли маса набирала однорідного вигляду.

Як затверджують дослідження багатьох учених [10], під час диспергування змінюються деякі реологічні й технологічні показники, такі як в'язкість, ГНЗ, липкість, вологоутримуюча й жирутримуюча здатність тощо. Однак найбільше ефективно, на думку В. Д. Косого [11], оцінювати ефективність процесу здрібнювання за зміною зсувних властивостей, які характеризують енергію взаємодії між елементами структури, тобто властивості всього об'єму системи в умовах напруженого стану. Тому ми досліджували зміни показників ГНЗ і пластичної в'язкості. Динаміка зміни в'язкості та граничної напруги зсуву в НБВМ представлена на рис. 1, 2.



— подрібнення рифленим ножом; - - - - - подрібнення гладким

Рис. 1. Динаміка зміни ГНЗ під час диспергування НБВМ



— подрібнення рифленим ножом; - - - - - подрібнення гладким

Рис. 2. Динаміка зміни пластичної в'язкості під час диспергування НБВМ

Як можна бачити з даних дослідження, під час диспергування маси на початковому періоді, коли частки здрібнюються до розміру, небагато меншого за початковий і додана волога утворює товсті прошарки, що полегшують деформацію, величина ГНЗ починає зростати для НБВМ на 12,2...17,9 %, а пластична в'язкість знижується для НБВМ на 35,1...58,5 %. Перебіг цих процесів у системі НБВМ триває 40...50 с, що, на нашу думку, пов'язано з великою механічною міцністю протопектину та екстенсину клітковинних стінок моркви. У разі збільшення тривалості диспергування (перший період) відбувається інтенсивне розрізування часток, їхня загальна поверхня збільшується, волога з вільної переходить у поверхнево-зв'язану. У цей період величина граничної ГНЗ зростає й досягає максимального значення – для НБВМ 34,1...38,7 %, а пластична в'язкість зменшується до мінімальних значень – для НБВМ 63,4...63,6 %. Утворення



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

первинної структури маси НБВМ закінчується. Як свідчать дослідження процесу диспергування ковбасних фаршів на куттерах різних марок [3], саме цей час є оптимальним для процесу диспергування, при цьому втрати рідини при наступній термообробці ковбасних виробів убувають до мінімальних значень.

Якщо процес диспергування (другий період) продовжується, то відбувається деяке роздрібнення волокон овочевого компонента, температура маси продовжує підвищуватися, збільшується кількість дрібних часток, аерування маси веде до вторинного структуроутворення, а також до зменшення величини ГНЗ – до 20,8...29,6 %, збільшення та в подальшому може призвести до втрат маси при термообробці. Одночасно відбуваються колоїдно-хімічні зміни – перерозподіл часток та адсорбування вологи, утворення драглеподібних структур.

**Висновки відповідно до статті.** Тобто з отриманих даних можна зробити висновок, що оптимальний час диспергування НБВМ на подрібнювачі ROBOT COUPE R2 із застосуванням гладких ножів становить  $(70 \pm 2)$  с, із застосуванням рифлених ножів –  $(90 \pm 2)$  с.

Отримані дані можуть також бути використані під час підбору та конструювання обладнання для формування та транспортування розроблених напівфабрикатів.

**Список використаних джерел**

1. Дейниченко Г. В. Ультрафільтраційні процеси та технології раціональної переробки білково-вуглеводної молочної сировини : монографія / Г. В. Дейниченко, І. В. Золотухіна, З. О. Мазняк. – Х. : Факт, 2008. – 208 с.
2. Золотухіна І. В. Оптиміальне співвідношення компонентів білково-вуглеводних напівфабрикатів / І. В. Золотухіна // Технічні науки та технології : науковий журнал. – 2016. – № 1 (3). – С. 217–221.
3. Косой В. Д. Совершенствование процесса производства вареных колбас / В. Д. Косой. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 272 с.
4. Збірник рецептур національних страв та кулінарних виробів: Для підприємств громад харчування всіх форм власності / О. В. Шалимінов, Т. П. Дятченко, Л. О. Кравченко та ін. – К. : А.С.К., 2003. – 848 с.
5. Дейниченко Г. В. Научное обоснование и разработка технологий продуктов питания повышенной пищевой ценности на основе нежирного молочного сырья : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.16 / Г. В. Дейниченко ; ХГАТОП. – Х., 1997. – 327 с.
6. Структурно-механические характеристики пищевых продуктов / А. В. Горбатов, А. М. Маслов, Ю. А. Мачихин и др. ; под ред. А. В. Горбатова. – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1982. – 296 с.
7. Малюк Л. П. Теоретическое и экспериментальное обоснование технологии полуфабрикатов многофункционального назначения из растительного сырья : дис. ... д-ра техн. наук : спец. 05.18.21 / Л. П. Малюк ; ХГАТОП. – Х., 1995. – 317 с.
8. Павлова В. В. Исследование и разработка технологии комбинированных пастообразных молочных продуктов : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.04 / В. В. Павлова ; Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности. – М., 1998. – 169 с.
9. Крамаренко Д. П. Технологія молочно-білкових фаршів з використанням йодовмісної водоростевої добавки : дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.16 / Дмитро Павлович Крамаренко ; Харківський державний університет. – Х., 2007. – 205 с.
10. Косой В. Д. Инженерная технология биотехнологических средств / В. Д. Косой, Я. И. Виноградов, А. Д. Малышев. – СПб. : ГИОРД, 2005. – 648 с.
11. Косой В. Д. Инженерная реология в производстве колбас / В. Д. Косой, А. Д. Малышев, С. Б. Юдина. – М. : КолосС, 2005. – 264 с.

**References**

1. Deinychenko, H. V., Zolotukhina, I. V., Mazniak, Z. O. (2008). *Ultrafiltratsiini protsesy ta tekhnologii ratsionalnoi pererobky bilkovo-vuhlevodnoi molochnoi syrovyny [Ultrafiltration processes and technologies for rational processing of protein-carbohydrate dairy raw materials]*. Kharkiv: Fakt [in Ukrainian].

2. Zolotukhina, I. V. (2016). Optymalne spivvidnoshennia komponentiv bilkovo-vuhlevodnykh napivfabrykativ [Optimal ratio of components of protein-carbohydrate semifinished products]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii – Technical sciences and technologies*, 1 (3), 217–221 [in Ukrainian].
3. Kosoi, V. D. (1983). *Sovershenstvovanie protcessa proizvodstva varenykh kolbas [Improvement of the process of production of walnut sausages]*. Moscow: Legkaia i pishchevaia prom-st [in Russian].
4. Shalyminov, O. V., Diatchenko, T. P., Kravchenko, L. O., Rachkovskiy, A. A., Rodionov Yu. F. (2003). *Zbirnyk retseptur natsionalnykh strav ta kulinarynykh vyrobiv: Dlia pidpriemstv hromad. kharchuvannia vsikh form vlasnosti [Collection of recipes for national dishes and culinary products: For community enterprises. nutrition of all forms of property]*. Kyiv: A.S.K. [in Ukrainian].
5. Deynichenko, G. V. (1997). *Nauchnoe obosnovanie i razrobotka tekhnologii produktov pitaniia povyshennoi pishchevoi tcennosti na osnove nezhirnogo molochnogo syria [Scientific substantiation and development of food products of high nutritional value based on low-fat dairy raw materials]*. (Doctor's thesis). KhGATOP, Kharkiv [in Russian].
6. Gorbatova, A. V. (Ed.). (1982). *Strukturno-mekhanicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov [Structural and mechanical characteristics of food products]*. Moscow: Legkaia i pishchevaia prom-st [in Russian].
7. Maliuk, L. P. (1995). *Teoreticheskoe i eksperimentalnoe obosnovanie tekhnologii polufabrikatov mnogofunktsionalnogo naznacheniiia iz rastitelnogo syria [Theoretical and experimental substantiation of the technology of semi-finished products of multifunctional purpose from vegetable raw materials]*. (Doctor's thesis). KhGATOP, Kharkiv [in Russian].
8. Pavlova, V. V. (1998). *Issledovanie i razrobotka tekhnologii kombinirovannykh pastoobraznykh molochnykh produktov [Research and development of the technology of combined paste-like dairy products]*. (Candidat's thesis). VNIIMP, Moscow [in Russian].
9. Kramarenko, D. P. (2007). *Tekhnolohiia molochno-bilkovykh farshiv z vykorystanniam yodovmisnoi vodorostevoi dobavky [Technology of milk-protein stuffings using iodine-containing algal additive]*. (Candidat's thesis). Kharkiv State University of Food Technology and Trade, Kharkiv [in Ukrainian].
10. Kosoi, V. D., Vinogradov, Ia. I., Malyshev, A. D. (2005). *Inzhenernaia tekhnologiiia biotekhnologicheskikh sredstv [Engineering technology of biotechnological products]*. Saint Petersburg: GIORO [in Russian].
11. Kosoi, V. D., Malyshev, A. D., Iudina, S. B. (2005). *Inzhenernaia reologiiia v proizvodstve kolbas [Engineering rheology in sausage production]*. Moscow: KolosS [in Russian].

UDC 544.77.051.1:664.849

Inna Zolotukhina

## THE PROCESS' OPTIMIZATION OF DISPERSING COMPONENTS OF SEMI-FINISHED SALTS OF PROTEIN-CARBOHYDRATE WITH CARROT PURE

**Urgency of the research.** Expanding the range of food products, increasing their biological value, as well as creating new generation products that meet the requirements of a healthy diet, is an urgent problem. One of the directions of realization of this problem is the development of technologies for the production of milk-protein semi-finished products based on buttermilk co-precipitate with the addition of a vegetable component.

**Target setting.** The proposed technology of preparation of milk-protein semi-finished products with the addition of puree carrots provides for obtaining a final product of a uniform consistency. In order to simplify the process of manufacturing semi-finished products, it is suggested to consider the possibility of carrying out a process of joint dispersion of its components.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest publications are publicly available on the basis of the definition of consistency indicators for plastic systems.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** One of the key factors that form the parameters of the conformity of the food system to the properties that are expected of it is the way to optimize the grinding of its formulation components.

**The research objective.** To solve the optimization problem, it is necessary to conduct a study of the dispersion of the mass of semi-finished products from the duration (degree) of grinding and the type of the installed knife.

**The statement of basic materials.** The problems of determining the ultimate shear stress of the components of protein-carbohydrate precursors for the purpose of optimizing the joint dispersion of the milk protein and vegetable components are considered.

**Conclusions.** The optimal dispersion time of semi finished milk-protein with carrot puree was determined.

**Keywords:** buttermilk; milk-protein concentrate; carrot puree; shredder; optimization; dispersion.

Fig.: 2. References: 11.

Инна Золотухина

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ ПОЛУФАБРИКАТОВ БЕЛКОВО-УГЛЕВОДНЫХ С ПЮРЕ МОРКОВИ

**Актуальность темы исследования.** Расширение ассортимента продуктов питания, повышения их биологической ценности, а также создание продуктов нового поколения, отвечающих требованиям здорового питания, является актуальной проблемой. Одним из направлений реализации этой проблемы является разработка технологий производства молочно-белковых полуфабрикатов на основе копреципитата пахты с добавлением овощной составляющей.

**Постановка проблемы.** Предложенная нами технология приготовления молочно-белковых полуфабрикатов с добавлением пюре моркови предусматривает получение конечного продукта однородной консистенции. С целью упрощения процесса изготовления полуфабрикатов предложено рассмотреть возможность проведения процесса совместного диспергирования его компонентов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Рассмотрены последние публикации в открытом доступе по определению показателей консистенции пластичных систем.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Одним из ключевых факторов, которые формируют параметры соответствия пищевой системы к свойствам, которые от нее ожидают, выступает способ оптимизации измельчения ее рецептурных составляющих.

**Постановка задачи.** Для решения задачи оптимизации необходимо провести исследования диспергирования массы полуфабрикатов от продолжительности (степени) измельчения и вида установленного ножа.

**Изложение основного материала.** Рассмотрены вопросы определения предельного напряжения сдвига компонентов полуфабрикатов белково-углеводных с целью оптимизации совместного диспергирования молочно-белковой и овощной составляющих.

**Выводы соответствию со статьей.** Определено оптимальное время диспергирования полуфабрикатов молочно-белковых с пюре моркови.

**Ключевые слова:** пахта; молочно-белковый концентрат; пюре моркови; измельчитель; оптимизация; диспергирование.

Рис.: 2. Библ.: 11.

**Золотухина Инна Васильевна** – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры устаткування харчової і готельної індустрії ім. М. І. Беляєва, Харківський державний університет харчування та торгівлі (вул. Клочківська, 333, м. Харків, 61051, Україна).

**Золотухина Инна Васильевна** – кандидат технических наук, докторант, доцент кафедры оборудования пищевой и гостиничной индустрии им. М. И. Беляева, Харьковский государственный университет питания и торговли (ул. Клочковская, 333, г. Харьков, 61051, Украина).

**Zolotukhina Inna** – PhD in Technical Sciences, Doctoral, Associate Professor of Department Equipment for Food and Hospitality Industry it. M. Belyaev, Kharkiv State University of Food Technology and Trade (333 Klochkovsky Str., 61051 Kharkiv, Ukraine).

**E-mail:** zolotce5@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-1900-2682>

**ResearcherID:** M-2778-2018

УДК 641.522.9:635.82[:658.562

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-228-235

Наталія Нестеренко, Анастасія Іванюта, Костянтин Мостика

## ВПЛИВ БЛАНШУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ЗАМОРОЖЕНИХ КУЛЬТИВОВАНИХ ПЕЧЕРИЦЬ

**Актуальність теми дослідження.** Заморожування культивованих печериць без попередньої теплової обробки не забезпечує високої якості готового продукту та після дефростації значно поступається свіжій сировині. Це підтверджує необхідність пошуку ефективних способів попередньої обробки грибної сировини перед заморожуванням з метою стабілізації її споживних властивостей.

**Постановка проблеми.** Результати попередніх досліджень засвідчили, що гриби після розморожування внаслідок високої активності оксидоредуктаз темнішають, втрачається значна кількість клітинного соку, що загалом негативно впливає на харчову цінність продукту. Тому актуальною є проблема стабілізації споживних властивостей грибів шляхом їх попередньої обробки перед заморожуванням.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями І. Е. Цапалової, Д. А. Плотнікової, Ю. Т. Жука, Н. А. Родькиної, R. Kurkela, B. Holmstrom, P. Varo, A. Mehliis, G. Geerds та інших встановлено та обґрунтовано позитивний вплив бланшування на грибну сировину, як одного з ефективних способів попередньої обробки.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Значна кількість вітчизняних та закордонних досліджень присвячені вивченню якості лісових грибів. Проте дані в науковій літературі щодо дослідження харчової цінності культивованих печериць після заморожування й тривалого низькотемпературного зберігання практично відсутні.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження впливу бланшування на стабілізацію споживних властивостей культивованих печериць білої та коричневої раси.

**Виклад основного матеріалу.** З метою збереження структури тканин, природного кольору грибів та більш інтенсивного зниження ферментативної активності, яка викликає потемніння грибної сировини, у воду для бланшування додавали лимонну кислоту. Теплова обробка відбувалась шляхом занурення грибів у воду при температурі 95–100 °С. Для визначення оптимальних варіантів бланшування нами було проведено серію експериментів, в яких змінювали концентрацію лимонної кислоти із кроком 0,05 одиниць (від 0,05 до 0,15 % лимонної кислоти) та час бланшування із кроком у 30 с (від 30 до 90 с). Основними критеріями для вибору режиму обробки слугували результати дезустаційної оцінки та основні фізико-хімічні показники, які найбільш повно відображають зміни в грибній сировині під час теплової обробки. За результатами проведених досліджень було розраховано комплексний показник якості культивованих печериць білої та коричневої раси залежно від часу бланшування та кількості лимонної кислоти на основі розробленої 5-бальної оцінки з урахуванням коефіцієнтів вагомості.

**Висновки відповідно до статті.** У результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що серед досліджуваних варіантів попередньої обробки за комплексом органолептичних та фізико-хімічних показників найкращими виявились печериці як білої так і коричневої раси, які були попередньо пробланшовані в 0,1 %-му розчині лимонної кислоти протягом 1 хв (60 с).

**Ключові слова:** культивовані печериці білої та коричневої раси; бланшування; комплексний показник якості; органолептичні показники; фізико-хімічні показники.

Табл.: 2. Бібл.: 6.

**Актуальність теми дослідження.** Проблема стабілізації споживних властивостей грибної сировини шляхом їх попередньої обробки перед заморожуванням.

**Постановка проблеми.** Гриби є одним із цінних продуктів харчування майбутнього, які здатні задовольнити потребу населення в білках. Системний аналіз статистичних даних засвідчив щорічну інтенсивність зростання промислового виробництва культивованих грибів. Проте лише 20 % їх надходить на переробку, втрати в процесі товароруку становлять близько 47 %. Тому доцільним є пошук ефективних способів їх переробки, одним з ефективних та перспективних серед яких є заморожування. Результати попередніх досліджень засвідчили, що заморожування культивованих печериць без попередньої теплової обробки не забезпечує високої якості готового продукту. Гриби після дефростації внаслідок високої активності оксидоредуктаз темнішають, втрачається значна кількість клітинного соку, що загалом негативно впливає на харчову цінність продукту.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідженнями вітчизняних та зарубіжних учених встановлено та обґрунтовано позитивний вплив бланшування на грибну сировину, як одного з ефективних способів попередньої обробки. Так, І. Е. Цапалова, Д. А. Плотніков, Ю. Т. Жук та Н. А. Родькіна [1; 2; 3; 4] встановили, що під дією високої температури руйнуються окислювальні ферменти, що викликають потемніння грибів, зменшується кількість мікроорганізмів, із грибних тканин видаляється повітря, у

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

тому числі й кисень, формується пружна консистенція, відбуваються зміни фізико-хімічних показників. Дослідженнями I. S. Pruthi та I. K. Manan встановлено, що в процесі теплової обробки лисичок відбувається зменшення об'єму грибів, вони стають еластичними та зберігають характерний хруст [5].

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Значна кількість вітчизняних та закордонних досліджень присвячені вивченню якості лісових грибів. Однак дані в науковій літературі щодо дослідження харчової цінності культивованих печериць після заморожування й тривалого низькотемпературного зберігання практично відсутні.

**Мета статті.** Метою роботи є дослідження вплив бланшування на стабілізацію споживних властивостей культивованих печериць білої та коричневої раси.

**Виклад основного матеріалу.** У результаті аналізу літературних даних щодо морфологічних особливостей та хімічного складу культивованих печериць для досліджень було обрано гриби білої та коричневої раси першої хвилі збору штамів Hauser A-15 та № 117 відповідно, які були вирощені на одному субстраті. Контрольними зразками слугували печериці без бланшування та без додавання лимонної кислоти. З метою збереження структури тканин, природного кольору грибів та більш інтенсивного зниження ферментативної активності, яка викликає потемніння грибної сировини, у воду для бланшування додавали лимонну кислоту. Теплова обробка відбувалась шляхом занурення грибів у воду при температурі 95–100 °С. Для визначення оптимальних варіантів бланшування нами було проведено серію експериментів, в яких змінювали концентрацію лимонної кислоти із кроком 0,05 одиниць (від 0,05 до 0,15 % лимонної кислоти) та час бланшування із кроком у 30 с (від 30 до 90 с). Основними критеріями для вибору режиму обробки слугували результати дегустаційної оцінки та основні фізико-хімічні показники, які найбільш повно відображають зміни в грибній сировині під час теплової обробки. За результатами поведених досліджень було розраховано комплексний показник якості (КПЯ) культивованих печериць білої та коричневої раси залежно від часу бланшування та кількості лимонної кислоти на основі розробленої 5-балової оцінки з урахуванням коефіцієнтів вагомості (табл. 1 та 2).

У результаті проведених досліджень можна зробити висновок, що серед досліджуваних варіантів попередньої обробки за комплексом органолептичних та фізико-хімічних показників найкращими виявились печериці як білої, так і коричневої раси, які були попередньо пробланшовані в 0,1 % розчині лимонної кислоти протягом 1 хв (60 с). Після дефростації досліджувані зразки мали менш привабливим зовнішній вигляд порівняно зі свіжими, проте значно кращий порівняно з контролем, в якого спостерігалось його значне погіршення. Додавання лимонної кислоти позитивно вплинуло на колір грибів порівняно з контролем. Встановлено покращення й консистенції дослідних зразків. Високим рівнем збереженості консистенції характеризуються гриби білої та коричневої раси, які були піддані тепловій обробці в 0,1 % розчині лимонної кислоти протягом 1 хв (60 с). Підвищенням часу бланшування до 1,5 хв (90 с) негативно впливає на консистенцію грибів, відбувається розм'якшення тканин за рахунок гідролітичного розпаду білкових речовин і втрати ними вологоутримувальної здатності. Слід зауважити, що незалежно від часу бланшування та кількості лимонної кислоти, інтенсивність аромату грибів знижується не суттєво, що не виявляє негативного впливу на сенсорні показники продукту.

Комплексна оцінка якості заморожених культивованих печериць білої раси штаму Hauser A-15 залежно від часу бланшування та кількості лимонної кислоти

n=5, p≤0,05

Варіанти досліду		Органолептичні показники					Фізико-хімічні показники				КПЯ
Час бланшування, хв; с	Кількість лимонної кислоти, %	Зовнішній вигляд	Колір	Аромат	Смак	Консистенція	Втрати маси під час бланшування, %	Вологоутримувальна здатність, %	Активність ферменту, мкмоль аскорбінової кислоти, окисненої за 1 хв на 1 г грибів		
									Аскорбіна-токсидази	Поліфено-локсидази	
Контроль (без бланшування)		3,8±0,19	3,6±0,18	4,7±0,23	4,0±0,19	3,7±0,19	0	66,54±3,32	0,56±0,02	5,3±0,26	0,675
Дослід											
0,1 (30)	0,05	3,97±0,19	3,72±0,18	4,75±0,23	4,07±0,20	3,8±0,19	3,0±0,15	66,88±3,34	0,45±0,02	3,25±0,16	0,704
	0,10	3,95±0,19	3,75±0,18	4,75±0,23	4,09±0,20	3,81±0,19	3,03±0,15	66,9±3,34	0,43±0,02	3,31±0,16	0,704
	0,15	3,97±0,19	3,79±0,18	4,75±0,23	4,09±0,20	3,85±0,19	3,1±0,15	67,03±3,35	0,4±0,02	3,37±0,16	0,708
1,0 (60)	0,05	4,0±0,2	3,8±0,19	4,78±0,23	4,1±0,20	3,88±0,19	5,21±0,26	67,32±3,34	0,35±0,01	2,3±0,11	0,710
	0,10	4,0±0,2	3,8±0,19	4,8±0,24	4,1±0,20	3,9±0,19	5,0±0,25	68,62±3,43	0,31±0,01	2,1±0,11	0,726
	0,15	4,0±0,2	3,85±0,19	4,8±0,24	4,1±0,20	3,9±0,19	5,01±0,25	67,21±3,36	0,36±0,01	2,2±0,11	0,717
1,5 (90)	0,05	4,1±0,2	3,83±0,19	4,75±0,23	4,1±0,20	3,7±0,19	6,3±0,31	68,25±3,41	0,21±0,01	1,65±0,08	0,717
	0,10	4,1±0,2	3,85±0,19	4,78±0,23	4,1±0,20	3,7±0,19	6,1±0,31	69,0±3,45	0,25±0,01	1,68±0,08	0,705
	0,15	4,1±0,2	3,85±0,19	4,78±0,23	4,1±0,20	3,7±0,19	6,2±0,31	69,0±3,45	0,25±0,01	1,63±0,08	0,717
Коефіцієнт вагомості		0,1	0,1	0,1	0,05	0,11	0,15	0,2	0,09	0,1	

Таблиця 2

Комплексна оцінка якості заморожених культивованих печериць коричневої раси штаму № 117 залежно від часу бланшування та кількості лимонної кислоти

n=5, p≤0,05

Варіанти дослід		Органолептичні показники					Фізико-хімічні показники				КПЯ
Час бланшування, хв; с	Кількість лимонної кислоти, %	Зовнішній вигляд	Колір	Аромат	Смак	Консистенція	Втрати маси під час бланшування, %	Вологоутримувальна здатність, %	Активність ферменту, мкмоль аскорбінової кислоти, окисненої за 1 хв на 1 г грибів		
									Аскорбіна-токсидази	Поліфено-локсидози	
Контроль (без бланшування)		3,7±0,19	3,5±0,17	4,5±0,22	3,9±0,19	3,6±0,18	0	63,0±3,15	0,3±0,01	3,6±0,18	0,697
Дослід											
0,1 (30)	0,05	3,8±0,19	3,57±0,17	4,54±0,22	3,96±0,19	3,7±0,18	3,5±0,17	65,88±3,29	0,27±0,01	1,8±0,09	0,714
	0,10	3,85±0,19	3,59±0,17	4,56±0,22	3,96±0,19	3,72±0,18	3,8±0,19	65,9±3,29	0,26±0,01	1,83±0,09	0,714
	0,15	3,87±0,19	3,6±0,18	4,57±0,22	3,98±0,19	3,73±0,18	3,7±0,18	66,03±3,30	0,25±0,01	1,8±0,09	0,719
1,0 (60)	0,05	3,9±0,19	3,6±0,18	4,59±0,23	4,0±0,2	3,78±0,18	6,21±0,31	70,15±3,50	0,2±0,01	1,0±0,05	0,724
	0,10	3,9±0,19	3,6±0,18	4,6±0,23	4,0±0,2	3,8±0,19	6,12±0,31	70,94±3,54	0,15±0,01	0,65±0,03	0,741
	0,15	3,9±0,19	3,61±0,18	4,6±0,23	4,0±0,2	3,81±0,19	6,01±0,31	67,21±3,36	0,13±0,01	0,66±0,09	0,72
1,5 (90)	0,05	3,87±0,19	3,59±0,17	4,5±0,22	4,1±0,2	3,65±0,18	7,67±0,38	68,25±3,41	0,07±0,003	0,23±0,01	0,71
	0,10	3,8±0,19	3,6±0,18	4,5±0,22	4,1±0,2	3,67±0,18	7,5±0,37	69,0±3,45	0,08±0,004	0,25±0,01	0,71
	0,15	3,84±0,19	3,59±0,17	4,5±0,22	4,1±0,2	3,65±0,18	7,57±0,31	69,96±3,49	0,09±0,004	0,21±0,01	0,72
Коефіцієнт вагомості		0,1	0,1	0,1	0,05	0,11	0,15	0,2	0,09	0,1	

В усіх дослідних зразках під час теплової обробки спостерігається зменшення маси, за рахунок денатурації білків, втрати клітинного соку та видалення повітря із тканин плодового тіла грибів. Найвищими втратами маси характеризувались гриби як білої, так і коричневої раси, які піддавали тепловій обробці протягом 1,5 хв (90 с). Іншим важливим показником якості печериць після розморожування є їх вологоутримувальна здатність. Треба зазначити, що попередня тепла обробка грибів перед заморожуванням позитивно вплинула на підвищення вологоутримувальної здатності (порівняно з контролем), проте печериці незалежно від раси, часу бланшування та кількості лимонної кислоти все ж характеризувались значними втратами клітинного соку, що підтверджує необхідність пошуку додаткових способів попередньої обробки грибів перед заморожуванням. Незалежно від часу бланшування та кількості лимонної кислоти, інтенсивність аромату грибів знижується не суттєво, що не виявляє негативного впливу на сенсорні показники продукту.

Особливу увагу приділяли й таким показникам, як втрата маси грибів після бланшування, вологоутримувальна здатність після розморожування та ферментативна активність. У всіх дослідних зразках під час теплової обробки спостерігається зменшення маси, за рахунок денатурації білків, втрати клітинного соку та видалення повітря із тканин плодового тіла грибів. Найвищими втратами маси характеризувались гриби як білої так і коричневої раси, які піддавали тепловій обробці протягом 1,5 хв (90 с). Іншим важливим показником якості печериць після розморожування є їхня вологоутримувальна здатність. Необхідно зауважити, що попередня тепла обробка грибів перед заморожуванням позитивно вплинула на підвищення вологоутримувальної здатності (порівняно з контролем), проте печериці незалежно від раси, часу бланшування та кількості лимонної кислоти все ж характеризувались значними втратами клітинного соку, що підтверджує необхідність пошуку додаткових способів попередньої обробки грибів перед заморожуванням.

Оскільки в процесі заморожування грибної сировини окисно-відновні процеси, властиві свіжим продуктам, зсуваються у бік окислювальних реакцій, то якість замороженого продукту залежить переважно від ступеня активності оксидоредуктаз, серед яких особливе значення має поліфенолоксидаза. Під час заморожування руйнується частина ферменту в результаті чого порушується збалансованість та координація окремих реакцій, їх синхронність, накопичуються продукти неповного окислення енергетичних субстратів, при цьому погіршується якість сировини, набуваючи стороннього присмаку, а активований оксидазою кисень окиснює поліфеноли до хінонів з утворенням коричневих пігментів. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження впливу бланшування в розчині лимонної кислоти на ферментативну активність грибної сировини, оскільки інактивація ферментів краще відбувається в кислому середовищі [6].

У результаті проведених досліджень (табл. 1, 2) встановлено інгібуючу дію бланшування на активність оксидоредуктаз у дослідних зразках, порівняно з контролем (без бланшування), який характеризується високою активністю поліфенолоксидази, чим зумовлено погіршення кольору грибів у процесі дефростації.

**Висновки відповідно до статті.** Узагальнюючи результати експериментальних досліджень, було доведено позитивний вплив бланшування на органолептичні показники, вологоутримувальну здатність та ферментативну активність культивованих печериць (незалежно від раси грибів) та визначено (з урахуванням КПЯ) оптимальні параметри процесу теплової обробки, а саме, бланшування сировини в 0,1 %-му розчині лимонної кислоти протягом 1 хв (60 с). У подальшому актуальним є пошуку додаткових способів попередньої обробки культивованих печериць перед заморожуванням.



**Список використаних джерел**

1. Цапалова И. Э. Экспертиза грибов / И. Э. Цапалова, В. И. Бакайтис, Н. П. Кутафьева. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та : Сиб. унив. изд-во, 2002. – 256 с.
2. Плотников Д. А. Исследование качества съедобных грибов при мариновании и хранении: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15/ Д. А. Плотников ; Сибирский университет потребительской кооперации. – Новосибирск, 2003. – 19 с.
3. Жук Ю. Т. Консервирование и хранение грибов (биохимические основы) / Ю. Т. Жук. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 144 с.
4. Родькина Н. А. Исследование качества натуральных грибных консервов при производстве и хранении: автореф. дис. ... канд. техн. наук : спец. 05.18.15 / Н. А. Родькина. – М., 1980. – 25 с.
5. Pruthi I. S. Improvement in whiteness and extension of shelf life of fresh and processed mushrooms (*Agaricus bisporus* and *Volvariella volvacea*) / I. S. Pruthi, I. K. Manan, B. L. Raina and M. S. Teotia // *Indian Food Packet*. – 1984. – Vol. 38. – № 2. – P. 55–63.
6. Зберігання і переробка продукції рослинництва / Г. І. Подпрятков, Л. Ф. Скалецька, А. М. Сеньков, В. С. Хилевич. – К. : Мета, 2002. – 495 с.

**References**

1. Tsapalova, I. E., Bakaitis, V.I. & Kutafieva, I.E. (2002). *Ekspertizagribov [Examination of mushrooms]*. Novosibirsk: Publishing house Novosib. University [in Russian].
2. Plotnikov, D. A. (2003). *Issledovanie kachestva sedobnykh gribov pri marinovanii i khranении [Research of the quality of edible mushrooms during pickling and storage]*. (Doctor's thesis). Novosibirsk [in Russian].
3. Zhuk, J. T. (1982). *Konservirovanie i khranenie gribov (biohimicheskie osnovy) [Preservation and storage of mushrooms (biochemical basis)]*. Moscow: Legkaia i pishhevaia promyshlennost [in Russian].
4. Rodkina, N. A. (1980). *Issledovanie kachestva naturalnykh gribnykh konservov pri proizvodstve i khranении [Investigation of the quality of natural canned mushrooms during production and storage]*. Moscow [in Russian].
5. Pruthi, J. S. and Manan, J. K. and Raina, B. L. and Teotia, M. S. (1984) Improvement in whiteness and extension of shelf life of fresh and processed mushrooms (*Agaricus bisporus* and *Volvariella volvacea*). *Indian Food Packer*, 38 (2). pp. 55-63 [in English].
6. Podpriatov H. I., Skaletska L. F., Senkov A. M. Khylevych V. S. (2002). *Zberihannia ta pererobka produktii roslinnytstva [Storage and processing of crop production]*. Kyiv: Meta [in Ukrainian].

UDC 641.522.9:635.82[:658.562

Natalia Nesterenko, Anastasiya Ivanyuta, Kostiantyn Mostyka

**INFLUENCE OF BLANKING ON QUALITY OF FROZEN CULTIVATED MUSHROOMS**

**Urgency of the research.** Freezing of cultivated mushrooms without preliminary heat treatment does not provide high quality of the finished product and after defrosting considerably inferior to fresh raw materials. This confirms the need to find effective ways to preliminary treatment mushroom raw materials before freezing in order to stabilize its nutritional properties.

**Target setting.** The results of previous studies have shown that mushrooms after defrosting due to high activity oxidoreductase become darker, a significant amount of cellular juice is lost, which in general adversely affects the nutritional value of the product. Therefore, the problem of stabilizing the consumer properties of mushrooms by their pretreatment before freezing is actual.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The positive effect of blanching on mushroom raw materials, as one of the effective methods of preliminary processing, was established and substantiated by I. Tsapalova, D. Plotnikova, Y. Zhuka, N. Rodkinova, R. Kurkela, B. Holmstrom, P. Varo, A. Mehlits, G. Geerds and others.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** A significant number of domestic and foreign studies are devoted to the study of the quality of forest mushrooms. However, data in the scientific literature on the study of the nutritional value of cultivated mushrooms after freezing and long-term low-temperature storage are practically absent.

**The research objective.** The purpose of the work is to study the effect of blanching on the stabilization of the consumer properties of cultivated mushrooms of white and brown races.

**The statement of basic materials.** In order to preserve the structure of tissues, the natural color of fungi and more intensive reduction of enzymatic activity, which causes darkening of the mushroom raw material in the water for blanching added citric acid. Heat treatment was carried out by immersing fungi in water at a temperature of 95–100 °C. To determine the optimal blanching options, we conducted a series of experiments in which the concentration of citric acid in a step of 0,05 units (from 0,05 to 0,15 % citric acid) and blanching time in increments of 30 s (from 30 to 90 s). The main criteria for

choosing the processing mode were the tasting results and the basic physical and chemical parameters that most fully reflect the changes in the mushroom raw material during heat treatment. According to the results of the conducted studies, a comprehensive indicator of the quality of the cultivated white and brown race sin mushrooms was calculated based on the blanching time and the amount of citric acid on the basis of the developed 5-point evaluation taking into account the weighting factors.

**Conclusions.** As a result of the conducted research it can be concluded that among the investigated variants of pre-treatment on the complex of organoleptic and physicochemical indicators the best were mushrooms of both white and brown race, which were preliminarily diluted in 0.1 % solution of citric acid for 1 min (60 s).

**Keywords:** cultivated mushrooms of white and brown races; blanking; complex index of quality; organoleptic indicators; physical and chemical indicators.

Table: 2. References: 6.

УДК 641.522.9:635.82[:658.562

Наталія Нестеренко, Анастасія Іванюта, Константин Мостыка  
**ВЛИЯНИЕ БЛАНШИРОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ЗАМОРОЖЕННЫХ  
КУЛЬТИВИРОВАННЫХ ШАМПИНЬОНОВ**

**Актуальность темы исследования.** Замораживание культивированных шампиньонов без предварительной тепловой обработки не обеспечивает высокого качества готового продукта и после дефростации значительно уступает свежему сырью. Это подтверждает необходимость поиска эффективных способов предварительной обработки грибного сырья перед замораживанием с целью стабилизации его потребительских свойств.

**Постановка проблемы.** Результаты предыдущих исследований показали, что грибы после размораживания вследствие высокой активности оксидоредуктаз темнеют, теряется значительное количество клеточного сока, что в целом негативно влияет на пищевую ценность продукта. Поэтому актуальной является проблема стабилизации потребительских свойств грибов путем их предварительной обработки перед замораживанием.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Исследованиями И. Е. Цапаловой, Д. А. Плотниковой, Ю. Т. Жука, Н. А. Родькина, R. Kurkela, B. Holmstrom, P. Varo, A. Mehliis, G. Geerds и других установлено и обосновано положительное влияние бланширования на грибное сырье, как одного из эффективных способов предварительной обработки.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Значительное количество отечественных и зарубежных исследований посвящено изучению качества лесных грибов. Однако данные в научной литературе по исследованию пищевой ценности культивированных шампиньонов после замораживания и длительного низкотемпературного хранения практически отсутствуют.

**Постановка задания.** Целью работы является исследование влияния бланширования на стабилизацию потребительских свойствах культивированных шампиньонов белой и коричневой расы.

**Изложение основного материала.** С целью сохранения структуры тканей, естественного цвета грибов и более интенсивного снижения ферментативной активности, которая вызывает потемнение грибного сырья, в воду для бланширования добавляли лимонную кислоту. Тепловая обработка происходила путем погружения грибов в воду при температуре 95–100 °С. Для определения оптимальных вариантов бланширования нами была проведена серия экспериментов, в которых изменяли концентрацию лимонной кислоты с шагом 0,05 единиц (от 0,05 до 0,15 % лимонной кислоты) и время бланширования с шагом в 30 с (от 30 до 90 с). Основными критериями для выбора режима обработки служили результаты дегустационной оценки и основные физико-химические показатели, которые наиболее полно отражают изменения в грибном сырье во время тепловой обработки. По результатам проведенных исследований было рассчитано комплексный показатель качества культивируемых шампиньонов белой и коричневой расы в зависимости от времени бланширования и количества лимонной кислоты на основе разработанной 5-балльной оценке с учетом коэффициентов весомости.

**Выводы.** В результате проведенных исследований можно сделать вывод, что среди исследуемых вариантов предварительной обработки по комплексу органолептических и физико-химических показателей лучшими оказались шампиньоны как белой, так и коричневой расы, которые предварительно подвергались бланшированию 0,1 %-ом раствором лимонной кислоты в течение 1 мин (60 с).

**Ключевые слова:** культивируемые грибы белой и коричневой расы; бланширование; комплексный показатель качества; органолептические показатели; физико-химические показатели.

Табл.: 2. Библ.: 6.

Нестеренко Наталія Анатоліївна – здобувач кафедри товарознавства, управління безпечністю та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Києво 19, м. Київ, 02156, Україна).

Нестеренко Наталія Анатоліївна – соискатель кафедры товароведения, управления безопасностью и качеством, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото 19, г. Киев, 02156, Украина).

Nesterenko Natalia – applicant of Department of Commodity Science, Management of Safety and Quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

E-mail: natysik88@bigmir.net

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3003-0406>

ResearcherID: L-5234-2018

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Іванюта Анастасія Олександрівна** – кандидат технічних наук, асистент кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна).

**Іванюта Анастасія Александровна** – кандидат технических наук, ассистент кафедры технологии мясных, рыбных и морепродуктов, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Обороны, 15, г. Киев, 03041, Украина).

**Ivaniuta Anastasiya** – PhD in Technical Sciences, assistant of Department Technologies of meat, fish and marine products, National University of Bioresources and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroes Oborony Str., 03041 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [nastasushka@bigmir.net](mailto:nastasushka@bigmir.net)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-1770-5774>

**ResearcherID:** L-5260-2018

**Мостика Костянтин Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри товарознавства, управління безпечністю та якістю, Київський національний торговельно-економічний університет (вул. Кіото 19, м. Київ, 02156, Україна).

**Мостыка Константин Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения, управления безопасностью и качеством, Киевский национальный торгово-экономический университет (ул. Киото 19, г. Киев, 02156, Украина).

**Mostyka Kostiantyn** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Commodity Science, Management of Safety and Quality, Kyiv National University of Trade and Economics (19 Kioto Str., 02156 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** [mostyka@knteu.kiev.ua](mailto:mostyka@knteu.kiev.ua)

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-6165-6463>

**ResearcherID:** M-1364-2018

УДК 544.723.2

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-236-244

Альона Ковальчук, Тетяна Почечун, Віта Галиш, Інна Трус

## ФОСФОРИЛЮВАННЯ ШКАРАЛУП ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

**Актуальність теми дослідження.** Проблема забруднення водних об'єктів актуальна для всіх регіонів України. Тому пріоритетним напрямком є залучення «зелених технологій» для забезпечення екологізації виробництва.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день не існує ефективних способів переробки твердих рослинних відходів, тому необхідно розробити нові ефективні способи їх утилізації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, включаючи використання як сорбентів різних рослинних матеріалів у необробленому стані.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Фосфорилювання рослинних відходів в умовах невисоких температур для забезпечення високої сорбційної ємності.

**Постановка завдання.** Розробка способу хімічного модифікування шкаралуп волоських горіхів різного фракційного складу з використанням ортофосфатної кислоти.

**Виклад основного матеріалу.** Розроблено спосіб одержання фосфорилюваних лігноцелюлозних сорбентів із відходів агропромислового комплексу, а саме подрібнених шкаралуп волоських горіхів. Визначено вміст основних компонентів у вихідній сировині та її сорбційні властивості залежно від фракційного складу. Показано, що зменшення фракційного складу рослинного матеріалу має позитивний вплив на його поглинальну здатність. Досліджено вплив умов хімічного модифікування, а саме концентрації ортофосфатної кислоти та тривалості обробки, на вихід фосфорилюваного лігноцелюлозного продукту, його сорбційну здатність щодо метиленового синього та статичну обмінну ємність за 0,1 N NaOH. Показано, що збільшення кількості неорганічної кислоти при тривалості процесу модифікування 60 хв призводить до зменшення виходу продукту на 10–20 %. Максимальне збільшення статичної обмінної ємності спостерігається при підвищенні тривалості обробки до 120 хв. Ефективність вилучення метиленового синього з водного розчину підвищується до 42 % зі збільшенням тривалості процесу фосфорилювання до 180 хв.

**Висновки відповідно до статті.** Одержано рівняння регресії, що адекватно описують процес одержання сорбентів, встановлено оптимальні параметри, які забезпечують одержання кінцевих продуктів із високими сорбційними характеристиками (ефективність вилучення метиленового синього з водного розчину та статична обмінна ємність за  $\text{Na}^+$  складають 35 % та 1,7 мг-екв/г, відповідно) при високому виході (80 %).

**Ключові слова:** сорбція; статична обмінна ємність; метиленовий синій; фосфорилювання; рівняння регресії.

Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 13.

**Актуальність теми дослідження.** Проблема забруднення водних об'єктів навколишнього середовища поллютантами різної природи нині гостро постає перед багатьма країнами світу. Стрімкий розвиток важкої та легкої промисловості вимагає розробки ефективних енергоресурсозберігаючих маловідходних технологій. Пріоритетним також є залучення «зелених технологій» для екологізації виробництва. З цією метою доцільно використовувати вторинні рослинні ресурси, а саме відходи та побічні продукти агропромислового комплексу в технологіях захисту навколишнього середовища від токсикантів неорганічного та органічного походження.

**Постановка проблеми.** Щорічно в Україні утворюється мільйони тон відходів рослинного походження та побічних продуктів сільського господарства та харчової промисловості, лише незначна частка яких знаходить подальше застосування як сировина в інших галузях промисловості (мікробіологічній, хімічній, фармацевтичній, косметичній та ін.), як корм для худоби та птиці, а також як добрива. Найбільш поширеним способом утилізації твердих рослинних відходів залишається спалювання, який не дозволяє отримувати нові продукти та призводить до забруднення навколишнього середовища продуктами горіння. Тому є необхідність розробки нових ефективних способів утилізації рослинних відходів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Останніми роками вченими виконано великий обсяг робіт із дослідження використання як сорбентів різних рослинних матеріалів, на основі деревних відходів або продуктів хімічного перероблення деревини [1], відходів сільського господарства [2; 3], шкаралуп кісточок плодово-ягідних культур [4; 5], для очищення водних середовищ різного складу. Рослинна сировина містить органічні сполуки різних хімічних класів (альдегіди, кетони, насичені та ненасичені жирні кислоти та ін.), а також неорганічні речовини, що й зумовлює можливості її використання в сорбційних технологіях. Проте в необробленому стані такі матеріали характеризуються неви-

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

сокою сорбційною здатністю, яка пояснюється низькофібрильованою структурою, високою щільністю та невисоким вмістом доступних активних функціональних груп [6; 7]. Для підвищення поглинальних властивостей можна проводити хімічне модифікування рослинних полімерів за підвищених температур із використанням різних реагентів, що дозволяє надати їм нових властивостей завдяки збільшенню питомої поверхні або завдяки введенню додаткових активних функціональних груп [8].

Одним із методів одержання ефективних сорбентів є фосфорилювання. Одержання таких сорбентів на основі рослинних відходів полягає або у фосфорилюванні їхнього вуглецевого залишку, одержаного в умовах піролізу, або в карбонізації попередньо просоченої фосфорилюючими реагентами лігноцелюлозної сировини [9]. У результаті такої обробки кінцевий продукт набуває іонообмінних властивостей завдяки наявності фосфорнокислих груп. Вихід цільового продукту з вихідної природної сировини при карбонізації при цьому є досить низьким і становить менше 30 %.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Іншим способом, який дають змогу одержати ефективні сорбенти багатоцільового призначення, може бути фосфорилювання рослинних відходів без подальшого оброблення в умовах високих температур без доступу кисню. У такому випадку фосфорилюванню будуть піддаватися як функціональні групи целюлози, так і лігніну. Крім того, залежно від умов проведення, відбуватиметься часткова деструкція низькомолекулярних полісахаридів, видалення екстрактивних речовин різної природи, що призводить до утворення більш розвиненої поруватої структури сорбційних матеріалів.

**Постановка завдання.** Метою роботи є розробка способу хімічного модифікування шкаралуп волоських горіхів різного фракційного складу з використанням ортофосфатної кислоти.

Для досягнення вказаної мети поставлено такі завдання:

- визначити хімічний склад подрібненої шкаралупи волоського горіху та оцінити поглинальні властивості різних фракцій вихідної сировини оброти;
- дослідити вплив основних факторів модифікування, а саме концентрації кислоти та тривалості обробки, на властивості кінцевого продукту.
- провести математичну обробку експериментальних даних та на основі одержаних рівнянь регресії виконати оптимізацію параметрів одержання фосфорильованих сорбентів.

**Експериментальна частина**

Для досліджень як вихідний матеріал використовували подрібнені шкаралупи волоських горіхів, вміст основних компонентів в яких визначали відповідно до загальноприйнятих методик, що широко застосовуються в галузі хімічної переробки деревини та рослинної сировини [10]. Об'єм адсорбційних пор визначали адсорбцією парів бензену за температури 18 °C в ексікаторі [11].

Подрібнену сировину сортували на фракції та зберігали в ексікаторі для підтримання постійної вологості та хімічного складу. У досліджах використовували три фракції вихідного матеріалу: 0,5 мм > фракція А > 1,0 мм; 1,0 мм > фракція Б > 1,5 мм; 1,5 мм > фракція В > 2,0 мм.

Модифікування горіхових шкаралуп проводили шляхом обробки розчинами  $H_3PO_4$  в термостійких скляних колбах на водяній бані з використанням зворотних холодильників аби запобігти втратам компонентів модифікуючого розчину та для підтримки постійного значення гідромодуля на рівні 5:1. Тривалість обробки становила від 60 до 180 хв, концентрація кислоти від 5 до 75 %, температура реакційної суміші – 95 °C. Після закінчення обробки фосфорильований лігноцелюлозний продукт відокремлювали від розчину шляхом фільтрування, промивали дистильованою водою до нейтральних значень рН промивних вод, зневоднювали та висушували до вологості 5–6 %.

Вихід продукту визначали гравіметричним способом.

Поглиналину здатність вихідного та модифікованих матеріалів щодо метиленового синього визначали в статичних умовах із використанням модельного розчину з концентрацією барвника 100 мг/л. Тривалість процесу – 2 год. Вихідну та рівноважну концентрації сорбату визначали спектрофотометричним методом на спектрофотометрі SPEKOL 11. Довжина хвилі при цьому становила 630 нм.

Дослідження іонообмінних властивостей (статична обмінна ємність) необробленої та фосфорильованої сировини визначали за величиною сорбції  $\text{Na}^+$  з 0,1 н. розчину  $\text{NaOH}$  відповідно до ГОСТ 20255.1-89 (Іоніти. Методи визначення статичної обмінної ємності).

Математичну обробку експериментальних та багатокритеріальну оптимізацію на було виконано з використанням комп'ютерного забезпечення. Для відтворення експериментальних даних було використано поліном другого порядку, який для двох незалежних змінних має вигляд:

$$y_i = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2,$$

де  $y_i$  – показники фосфорильованих лігноцелюлозних сорбентів;

$b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$  – коефіцієнти математичної моделі;

$x_1$  і  $x_2$  – значення факторів.

Змінними функціями ( $y_i$ ) були визначені такі показники сорбентів:  $y_1$  – вихід продукту, %;  $y_2$  – ефективність сорбції метиленового блакитного, %;  $y_3$  – статична обмінна ємність за  $\text{Na}^+$ , мг-екв/г.

Оптимізацію технологічних параметрів виконано методом багатокритеріальної оцінки з використанням узагальненої функції бажаності Харрінгтона. Відповідно до цього методу значення параметрів  $y_1, y_2$  та  $y_3$  переводили у відповідні бажаності ( $d_1, d_2, d_3$ ), використовуючи шкалу бажаності в інтервалі від 0 до 1, тобто від «дуже погано» (0,20 – 0,00) до «дуже добре» (1,00 – 0,80) [12].

**Виклад основного матеріалу.** Першочерговим завданням дослідної роботи було визначення хімічного складу вихідного матеріалу та оцінка об'єму адсорбційних пор. З цією метою використовували подрібнені шкаралупи волоських горіхів, а саме фракцію А. Результати дослідження наведено в табл. 1. У табл. 1 для порівняння також наведено хімічний склад інших представників твердих рослинних відходів агропромислового комплексу [13].

Таблиця 1

*Характеристика рослинних відходів харчової промисловості*

Матеріал	Вміст компонентів, %						Об'єм адсорбційних пор, см <sup>3</sup> /г
	Целюлоза	Лігнін	Зола	Речовини, що екстрагуються			
				Спирто-бензеновою сумішшю	Водою	1% розчином NaOH	
<b>Шкаралупи волоських горіхів</b>	<b>41,2</b>	<b>37,5</b>	<b>2,3</b>	<b>5,2</b>	<b>10,4</b>	<b>25,0</b>	<b>0,03</b>
Шкаралупи вишневих кісточок	41,2	51,3	3,8	-	-	-	0,01
Шкаралупи абрикосових кісточок	34,6	48,1	2,5	-	-	-	0,03
Шкаралупи персикових кісточок	38,3	50,3	5,1	-	-	-	0,02
Лушпиння гречки	46,7	52,4	3,5	-	-	-	0,03
Кукурудзяні качани обрушені	70,7	28,6	4,3	-	-	-	0,16

Як видно з наведених даних, вміст целюлози у шкаралупах волоських горіхів є близьким до вмісту цього ж компонента у шкаралупах кісточок вишні, персику, абрикосу та лушпинні гречки, але значно нижчим, ніж в обрушених кукурудзяних качанах. Вміст лігніну в досліджуваній сировині, який зазвичай лімітує процес дифузії реагентів до міжклітинного простору, є значно меншим у порівнянні з іншими представниками рослинних відходів. Те ж саме можна стверджувати і про вміст мінеральних компонентів.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Менший вміст поліароматичної складової може свідчити про більш швидкий перебіг сорбційних процесів. До речовин, що екстрагуються водою та 1 %-им розчином луку відноситься неорганічні солі, крохмаль, пектини, деякі низькомолекулярні полісахариди, циклічні спирти, барвники і таніди тощо, тобто різні класи органічних речовин, які мають у своєму складі різні функціональні групи, що можуть брати участь у реакціях приєднання, заміщення комплексоутворення та ін.

За об'ємом адсорбційних пор шкаралупи волоських горіхів не поступаються іншим представникам рослинних відходів, проте значно поступаються обрушеним кукурудзяним качанам. Збільшити сорбційні властивості рослинних матеріалів можна шляхом механічного оброблення, яке полягає в подрібненні сировини, що дозволяє збільшити доступність активних функціональних груп, а також питому поверхню матеріалу, об'єм адсорбційних пор.

На рис. 1 наведено результати дослідження сорбційних властивостей, а саме ефективності вилучення метиленового синього з водного розчину та статичної обмінної ємності за  $\text{Na}^+$  вихідного матеріалу різного фракційного складу. Результати дослідження показали, що фракційний склад матеріалу значно впливає на його поглинальні властивості. Зменшення розмірів вихідної природної сировини призводить до збільшення ефективності вилучення метиленового синього з 17,2 % для фракції В з розмірами 1,5–2,0 мм до 39,20 % для фракції А з розмірами 0,5–1,0 мм. Статична обмінна ємність при цьому збільшується в середньому на 30 % для кожної наступної фракції.

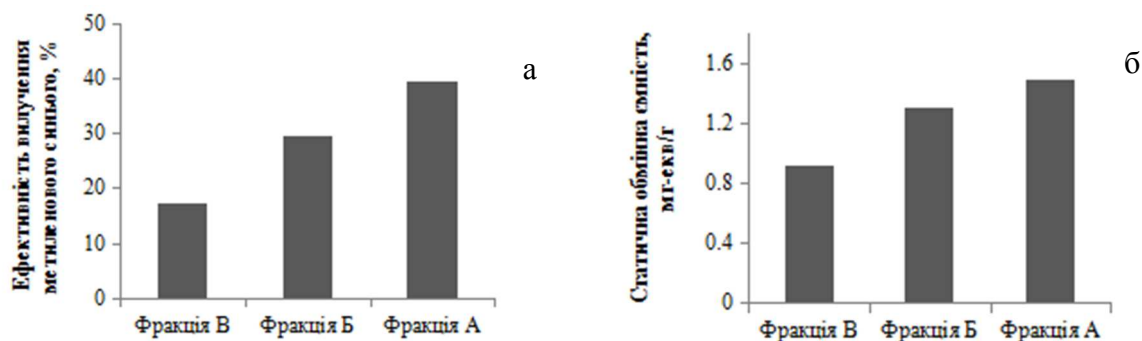


Рис. 1. Сорбційні властивості шкаралуп волоських горіхів різного фракційного складу:

а – ефективність вилучення метиленового синього з водного розчину;

б – статична обмінна ємність за  $\text{Na}^+$

Для надання вихідному матеріалу додаткових сорбційних властивостей наряду з механічною обробкою доцільно застосувати хімічне модифікування. У роботі для дослідження впливу концентрації  $\text{H}_3\text{PO}_4$  та тривалості обробки на властивості фосфорильованих лігноцелюлозних матеріалів використовували фракцію У подрібнених шкаралуп волоських горіхів. Результати досліджень представлені на рис. 2.

Зі збільшенням концентрації неорганічної кислоти від 5 до 75 % спостерігається зменшення виходу кінцевого продукту для всього дослідженого діапазону тривалості процесу (рис. 2, а). Причому першим 60 хв обробки відповідає максимальне зменшення маси продукту. Це, в свою чергу, може свідчити про розчинення екстрактивних речовин та низькомолекулярної фракції полісахариду. Наступне збільшення тривалості обробки до 180 хв мало впливає на вихід фосфорильованого лігноцелюлозного продукту.

При збільшенні концентрації неорганічної кислоти спостерігається зростання статичної обмінної ємності, але за умови, що модифікування відбувається не більше 120 хв (рис. 2, б). Подальша обробка не приводить до підвищення зазначеного показника.

У процесі фосфорильовання рослинної сировини зі збільшенням параметрів процесу також збільшується показник ефективності поглинання метиленового синього (рис. 2, в), причому зростання його значення відбувається і з підвищенням концентрації  $\text{H}_3\text{PO}_4$  до 75 %, і з підвищенням тривалості обробки до 180 хв. Це можна пояснити тим, що в процесі модифікування відбувається видалення з рослинної сировини частини

екстрактивних органічних та неорганічних речовин, деполімеризація полісахаридних складових, що призводить до утворення поруватої структури у фосфорильованих лігноцелюлозних продуктах. Поглинання катіонного барвника на таких сорбентах відбувається як за рахунок фізичної адсорбції, так і за механізмами хемосорбції за участю функціональних груп модифікованого рослинного матеріалу.

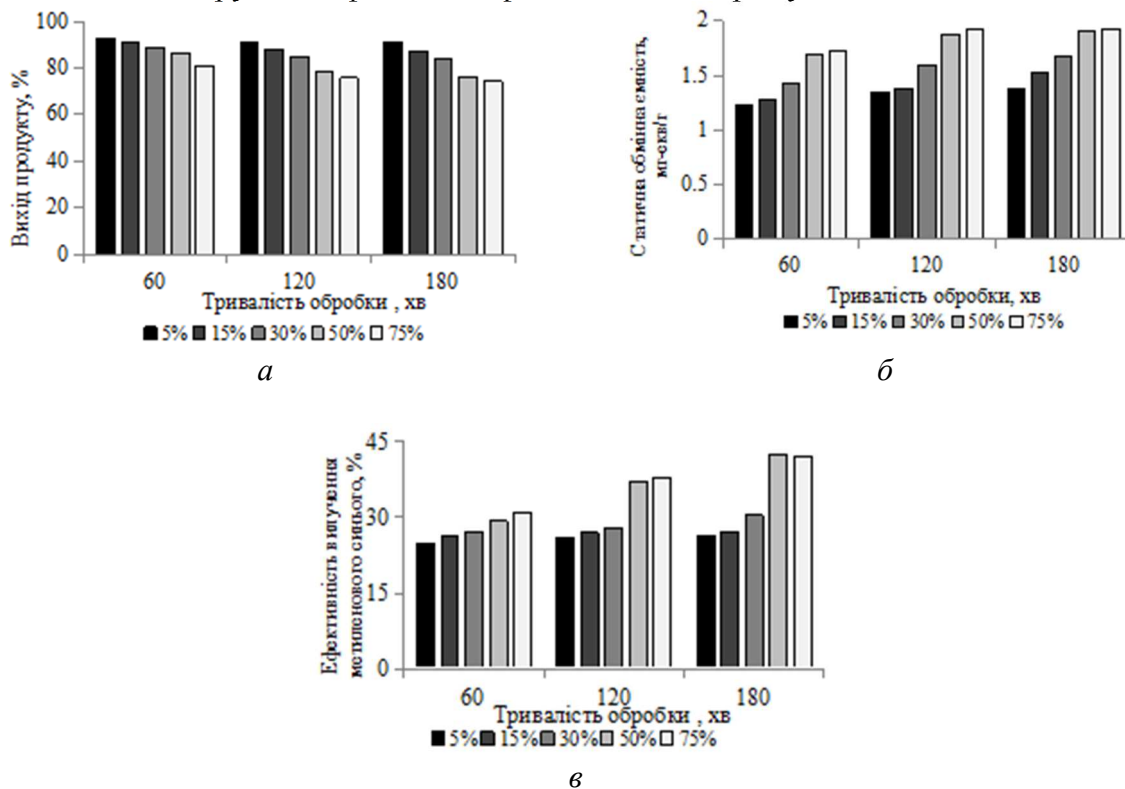


Рис. 2. Вплив концентрації  $H_3PO_4$  та тривалості обробки на вихід (а) фосфорильованого лігноцелюлозного продукту, статичну обмінну ємність за  $Na^+$  (б) та ефективність вилучення метиленового синього (в)

За результатами експерименту були розраховані рівняння регресії процесу фосфорильовання шкаралуп волоських горіхів, які мають такий вигляд:

$$y_1 = 98,084 - 0,0377x_1 - 0,101x_2 - 0,0013x_1x_2 - 0,0005x_1^2 + 0,0003x_2^2;$$

$$y_2 = 25,25 - 0,1589x_1 + 0,0128x_2 + 0,0021x_1x_2 + 0,0012x_1^2 - 0,00069x_2^2;$$

$$y_3 = 0,937 + 0,0051x_1 + 0,0051x_2 + 0,000077x_1x_2 + 0,00023x_1^2 - 0,00014x_2^2.$$

Значення коефіцієнтів кореляції для наведених рівнянь наближається до 1, що свідчить про адекватне описання процесу одержання фосфорильованих лігноцелюлозних сорбентів. Для знаходження оптимального рішення було вирішено застосувати об'єднання показників якості з використанням узагальненої функції бажаності. Шкалу бажаності по кожному з показників  $y_i$  наведено у табл. 2.

Таблиця 2

*Шкала бажаності для показників фосфорильованих лігноцелюлозних сорбентів та результати оптимізації*

Показник $y_i$	Шкала бажаності		Значення в точці оптимуму	
	дуже добре	дуже погано	розрахункове	експериментальне
Вихід сорбенту, %	92,8	74,4	80,1	80,8
Ефективність поглинання метиленового блакитного, %	42,2	24,9	35,2	36,0
Статична обмінна ємність за $Na^+$ , мг-екв/г	1,9	1,2	1,7	1,7



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

За результатами розрахунків було встановлено, що оптимальними параметрами процесу є концентрація кислоти 54,8 % та тривалість 120 хв. Саме для цих технологічних параметрів узагальнена функція бажаності Харрінгтона характеризується максимальним значенням, яке становить 0,7612. Розраховані та експериментальні значення  $u_i$  в точці оптимуму також наведено в табл. 2.

**Висновки відповідно до статті.** Досліджено хімічний склад шкаралуп волоського горіху та оцінено об'єм адсорбційних пор. Встановлено, що вихідна сировина складається з 41,2 % целюлози, 37,5 % лігніну, також містить у своєму складі золу в кількості 2,3 %, речовини, що екстрагуються спирто-бензеновою сумішшю, гарячою водою та 1 % розчином луку – 5,2; 10,4 та 25,0 %, відповідно, об'єм адсорбційних пор становить 0,03 см<sup>3</sup>/г.

Досліджено вплив фракційного складу вихідної сировини на сорбційну здатність, а саме на статичну обмінну ємність за Na<sup>+</sup> та ефективність вилучення метиленового синього. Показано, що зменшення розмірів фракцій з 1,5–2,0 мм до 0,5–1,0 мм призводить до підвищення ефективності вилучення органічного барвника на 22 % та до збільшення статичної обмінної ємності за Na<sup>+</sup> вдвічі.

Досліджено вплив основних умов процесу фосфорилування вихідної сировини на властивості кінцевого продукту. Визначено, що зі збільшенням концентрації кислоти до 75 % та тривалості модифікування до 120 хв показник статичної обмінної ємності за Na<sup>+</sup> сягає найбільшого значення, що становить 1,9 мг-екв/г. Максимальне значення ефективності сорбції метиленового синього досягається за концентрації модифікатора в розчині 50 % та тривалості 180 хв і становить 42,4 %.

**Список використаних джерел**

1. *Hydrolysis lignin as a sorbent and basis for solid composite biofuel* / P. Huo, T. Savitskaya, I. Reznikov, D. Hrynshpan, N. Tsygankova, G. Telysheva, A. Arshanitsa // *Advances in Bioscience and Biotechnology*. – 2016. – № 7. – Pp. 501–530.
2. *Potato peels as solid waste for the removal of heavy metal copper(II) from waste water/industrial effluent* / T. Aman, A. A. Kazi, M. U. Sabri, Q. Bano // *Colloids Surf B Biointerfaces*. – 2008. – № 63 (1). – Pp. 116–121.
3. *Conrad E. K. Adsorption removal of Methylene Blue from aqueous solution using agricultural waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies* / E. K. Conrad, O. J. Nnaemeka, A. O. Chris // *American Journal of Chemistry and Materials Science*. – 2015. – № 2 (3). – Pp. 14–15.
4. *Adsorption of copper ions from water by different types of natural seed materials* / A. A. Bsoul, L. Zeatoun, A. Abdelhay, M. Chiha // *Desalination and Water Treatment*. – 2014. – № 52. – Pp. 5876–5882.
5. *Development of effective technique for the disposal of the Prunus Armeniaca seed shells* / V. Halysh, I. Trembus, I. Deykun, A. Ostapenko, A. Nikolaichuk, G. Ilnitska // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – № 1(10). – Pp. 4–9.
6. *Синтез и свойства биосорбентов, полученных на основе целлюлозно-лигнинового растительного сырья – отходов агропромышленного комплекса* / А. А. Николайчук, Л. А. Купчик, Н. Т. Картель, В. О. Денисович // *Сорбционные и хроматографические процессы*. – 2007. – Т. 7, вып. 3. – С. 489–498.
7. *Biosorption of methylene blue by waste apricot shells from food industry* / T. Šoštarić, M. Petrović, J. Milojković et al. // *Journal of Engineering & Processing Management*. – 2015. – Vol. 7, No. 1. – Pp. 107–114.
8. *Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation* / I. Ozdemir, M. Sahin, R. Orhan, M. Erdem // *Fuel Process. Technol.* – 2014. – Vol. 125. – Pp. 200–206.
9. *Пузій О. Фосфоромісні вуглецеві сорбенти для очистки води* / О. Пузій, Б. Пасальський, Н. Чикун // *Товари і ринки*. – 2014. – № 1. – С. 159–166.
10. *Оболенская А. В. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы* / А. В. Оболенская, З. П. Ельцина, А. А. Леонович. – М. : Экология, 1991. – 320 с.
11. *Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники* / Н. В. Кельцев. – М. : Химия, 1976. – 511 с.
12. *Trautmann H. On the distribution of the desirability index using Harrington's desirability function* / H. Trautmann, C. Weihs // *Metrika*. – 2006. – Vol. 63, No. 2. – Pp. 207–213.

13. Kartel M. New composite sorbents for caesium and strontium ions sorption / M. Kartel, V. Galysh // *Chemistry Journal of Moldova*. – 2017. – Vol. 12, No. 1. – Pp. 37–44.

### References

- Huo, P., Savitskaya, T., Reznikov, I., Hrynshpan, D., Tsygankova, N., Telysheva, G., Arshanitsa, A. (2016). Hydrolysis lignin as a sorbent and basis for solid composite biofuel. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 7, 501–530 [in English].
- Aman, T., Kazi, A.A., Sabri, M.U., Bano, Q. (2008). Potato peels as solid waste for the removal of heavy metal copper(II) from waste water/industrial effluent. *Colloids Surf B Biointerfaces*, 63 (1), 116–121 [in English].
- Conrad, E. K., Nnaemeka, O. J., Chris, A. O. (2015). Adsorption removal of Methylene Blue from aqueous solution using agricultural waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *American Journal of Chemistry and Materials Science*, 2 (3), 14–15 [in English].
- Bsoul, A. A., Zeatoun, L., Abdelhay, A., Chiha, M. (2014). Adsorption of copper ions from water by different types of natural seed materials. *Desalination and Water Treatment*, 52, 5876–5882 [in English].
- Halysh, V., Trembus, I., Deykun, I., Ostapenko, A., Nikolaichuk, A., Ilnitska, G. (2018). Development of effective technique for the disposal of the Prunus Armeniaca seed shells. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1 (10), 4–9 [in English].
- Nikolaichuk, A. A., Kupchik, L. A., Kartel, N. T., Denisovich, V. O. (2007). Sintez i svoistva biosorbentov, poluchennykh na osnove tsellyulozno-ligninovogo rastitelnogo syria – otkhodov agropromyshlennogo kompleksa [Synthesis and properties of biosorbents obtained on the basis of cellulose-lignin plant material – agro-industrial wastes]. *Sorbtsionnye i khromatograficheskie protsessy – Sorption and chromatographic processes*, 7 (3), 489–498 [in Russian].
- Šoštarić, T., Petrović, M., Milojković, J. et al. (2005). Biosorption of methylene blue by waste apricot shells from food industry. *Journal of Engineering & Processing Management*, 7 (1), 107–114 [in English].
- Ozdemir, I., Sahin, M., Orhan, R., Erdem, M. (2014). Preparation and characterization of activated carbon from grape stalk by zinc chloride activation. *Fuel. Process. Technol.*, 125, 200–206 [in English].
- Puzii, O., Pasalskyi, B., Chykun, N. (2014). Fosforovmisni vuhletsevi sorbenty dlia ochystky vody [Phosphorus-containing carbon sorbents for water purification]. *Tovary i rynky – Goods and markets*, 1, 159–166 [in Ukrainian].
- Obolenskaia, A. V., Eltcina, Z. P., Leonovich, A. A. (1991). *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellulozy* [Publishing and editing]. Moscow: Ekologiya [in Russian].
- Keltcev, N. V. (1976). *Osnovy adsorbtsionnoi tekhniki* [Publishing and editing]. Moscow: Khimiia [in Russian].
- Trautmann, H., Weihs, C. (2006). On the distribution of the desirability index using Harrington's desirability function. *Metrika*, 63 (2), 207–213 [in English].
- Kartel, M., Galysh, V. (2017) New composite sorbents for caesium and strontium ions sorption. *Chemistry Journal of Moldova*, 12 (1), 37–44 [in English].

UDC 544.723.2

*Alona Kovalchuk, Tetiana Pochechun, Vita Halysh, Inna Trus*

### PHOSPHORYLATION OF WALNUTS SHELLS TO INCREASE THE EFFICIENCY OF WATER SOLUTIONS PURIFICATION

**Urgency of the research.** The problem of water objects pollution is relevant for all regions of Ukraine. Therefore, the priority direction is the attraction of "green technologies" to ensure the ecology of production.

**Target setting.** Nowadays, there are no effective ways of processing solid plant wastes, so new effective ways to dispose them must be developed.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest publications in the open access were considered, including the use as raw materials of various plant materials in the untreated state.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Phosphorylation of vegetal wastes under low temperatures to ensure high sorption capacity.

**The research objective.** Development of the method of chemical modification of walnuts shells of different fractional composition using orthophosphate acid.

**The statement of basic materials.** A method for obtaining phosphorylated lignocellulosic sorbents from waste of the agro-industrial complex, namely, crashed walnuts shells, was developed. The content of the main components in the raw material and its sorption properties, depending on the fraction composition, were determined. It was shown that the

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

reduction of the fractional composition of the plant material has a positive effect on its absorption capacity. The influence of the conditions of chemical modification, namely the concentration of orthophosphoric acid and processing time, on the yield of phosphorylated lignocellulose product, its sorption ability in relation with methylene blue and static exchange capacity for 0.1 N NaOH was investigated. It was shown that an increase in the amount of inorganic acid within a 60 minute modification process leads to a 10-20 % reduction in the yield of the product. The maximum increase in static exchange capacity is observed with an increase in processing time of up to 120 minutes. The efficiency of methylene blue removal from aqueous solution rises to 42 % with an increase in the duration of the phosphorylation process up to 180 minutes.

**Conclusions.** The regression equations that adequately describe the process of obtaining sorbents were obtained, and optimal parameters that provide final products with high sorption characteristics (the efficiency of methylene blue removal from aqueous solution and the static exchange capacity for Na<sup>+</sup> are 35 % and 1.7 mg-equiv/g, respectively) at high yield (80 %) were established.

**Keywords:** sorption; static exchange capacity; methylene blue; phosphorylation; regression equation.

Fig.: 2. Table: 2. References: 13.

УДК 544.723.2

Алена Ковальчук, Татьяна Почечун, Вита Галыш, Инна Трус

## ФОСФОРИЛИРОВАНИЕ СКОРЛУПЫ ГРЕЦКОГО ОРЕХА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

**Актуальность темы исследования.** Проблема загрязнения водных объектов актуальна для всех регионов Украины. Поэтому приоритетным направлением является использование “зеленых технологий” для обеспечения экологизации производств.

**Постановка проблемы.** На сегодняшний день не существует эффективных способов переработки твердых растительных отходов, поэтому необходимо разработать новые эффективные способы их утилизации.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, включая использование в качестве сорбентов различных растительных материалов в необработанном состоянии.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Фосфорилирование растительных отходов в условиях низких температур для обеспечения высокой сорбционной емкости.

**Постановка задачи.** Разработка способа химического модифицирования скорлуп грецких орехов разного фракционного состава с использованием ортофосфорной кислоты.

**Изложение основного материала.** Разработан способ получения фосфорилированных лигноцеллюлозных сорбентов из отходов агропромышленного комплекса, а именно измельченных скорлуп грецких орехов. Определено содержание основных компонентов в исходном сырье и его сорбционные свойства в зависимости от фракционного состава. Показано, что уменьшение фракционного состава растительного материала оказывает положительное влияние на его поглощающую способность. Исследовано влияние условий химического модифицирования, а именно концентрации ортофосфорной кислоты и продолжительности обработки, на выход фосфорилированного лигноцеллюлозного продукта, его сорбционную способность по метиленовому синему и статическую обменную емкость 0,1 N NaOH. Показано, что увеличение количества неорганической кислоты при продолжительности процесса модифицирования 60 мин приводит к уменьшению выхода продукта на 10–20 %. Максимальное увеличение статической обменной емкости наблюдается при повышении продолжительности обработки до 120 мин. Эффективность извлечения метиленового синего из водного раствора повышается до 42 % с увеличением продолжительности процесса фосфорилирования до 180 мин.

**Выводы в соответствии со статьей.** Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие процесс получения сорбентов, установлены оптимальные параметры, которые обеспечивают получение конечных продуктов с высокими сорбционными характеристиками (эффективность извлечения метиленового синего из водного раствора и статическая обменная емкость по Na<sup>+</sup> составляют 35 % и 1,7 мг-экв/г, соответственно) при высоком выходе (80 %).

**Ключевые слова:** сорбция; статическая обменная емкость; метиленовый синий; фосфорилирование, уравнение регрессии.

Рис.: 2. Табл.: 2. Библ.: 13.

**Ковальчук Альона Игорівна** – магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Ковальчук Алена Игоревна** – магістрант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Kovalchuk Alona** – master, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** yaity888222@gmail.com

**Почечун Татьяна Павлівна** – магістрант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (проосп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Почечун Татьяна Павловна** – магістрант, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Pochechun Tetiana** – master, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** tpo4e4un@gmail.com

**Галиш Віта Василівна** – кандидат хімічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Гальш Вита Васильевна** – кандидат химических наук, старший преподаватель кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Halysh Vita** – PhD in Chemical Sciences, Senior Lecturer of Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** v.galysh@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-7063-885X>

**ResearcherID:** I-4282-2016

**Scopus Author ID:** 57200944730

**Трус Інна Миколаївна** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна).

**Трус Инна Николаевна** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» (просп. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина).

**Trus Inna** – PhD in Technical Sciences, Senior Lecturer of Department of Ecology and Technology of Plant Polymers, National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» (37 Peremohy Av., 03056 Kyiv, Ukraine).

**E-mail:** inna.trus.m@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-6368-6933>

**ResearcherID:** I-3204-2017

**Scopus Author ID:** 56152219600

**Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом Ф83/50087.**

## РОЗДІЛ VII. ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВНИЦТВА ТА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

УДК 624-057(477.51)

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-245-262

*Володимир Іванишин, Віктор Бугай, Валентин Дудко, Олексій Пеньковець*

### ПОЛЬОВІ Й ЛАБОРАТОРНІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ДІЛЯНКИ ПІД БУДІВНИЦТВО БАГАТОКВАРТИРНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ У ПІВНІЧНІЙ ЧАСТИНІ м. ЧЕРНІГОВА

**Актуальність теми дослідження.** Інженерно-геологічні вишукування (дослідження) на будь-якій ділянці під будівництво на території м. Чернігова завжди актуальні, тому що четвертинні відклади, які покривають всю його площу, неоднорідні, фізико-механічні властивості їх дуже змінюються просторово і по глибині.

**Постановка проблеми.** Переважно більшість будівель і споруд у м. Чернігові закладається на четвертинних відкладах, які покривають всю його територію. Літологія та стратиграфічна повнота її часто змінюється на площі та в розрізі, що є проблемою для будівництва. Тому кожна ділянка під будівництво будь-якого об'єкта повинна детально досліджуватися.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Безпосередньо на ділянці, яка була об'єктом вишукувань, раніше робота не проводилася.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Невирішеною частиною проблеми була відсутність результатів інженерно-геологічних вишукувань на ділянці, яка розглядається.

**Постановка завдання.** Цільовим завданням робіт було вивчення інженерно-геологічних умов ділянки, на якій планується будівництво житлових будинків.

**Виклад основного матеріалу.** Вивчена ділянка розташована між Чернігівсько-Городнянською моренно-зандровою рівниною та долиною р. Стрижень. За тектонічним районуванням територія вишукувань належить до північної частини Дніпровсько-Донецької западини. Інженерно-геологічна модель будови ділянки, яка розвідана до глибини 20 м, ґрунтується на інженерно-геологічних розрізах свердловин (літологічних колонках), графіках статичного зондування та геологічних розрізах. У розрізах свердловин виділено вісімнадцять верств і 26 інженерно-геологічних елементів. Розкриті свердловинами осади представлені згори до низу насипними ґрунтами, верхньо-середньо- та середньо-нижньочетвертинними відкладами. Ґрунтові води безнапірного типу знаходяться на глибині 9,5 і більше метрів.

**Висновки відповідно до статті.** 1. За результатами виконаних робіт встановлено, що розкрита товща четвертинних осадових відкладів на ділянці неоднорідна, окремі частини її мають спорадичне поширення. 2. Ґрунти ІГЕ 11,12 просадні при додаткових навантаженнях. 3. На моренно-зандровій рівнині наявна «верховодка» на ґрунтах ІГЕ 14,15. При цьому ґрунти ІГЕ 11,12 стають текучими. 4. При розрахунках палевих фундаментів необхідно використовувати дані статичного зондування. 5. Через можливе підтоплення території з природних та антропогенних причин при проектуванні потрібно передбачити: гідроізоляцію фундаментів і підлог підвалів; регулювання поверхневого стоку; облаштування водопровідних комунікацій для запобігання втрати води та промислових стоків; захисні заходи, зокрема дренаж для забезпечення стійкості будівель до деформацій підмурків, нормальних умов будівництва й експлуатації заглиблених приміщень через наявність «верховодки»; при зміні плану розташування забудов та поверховості будівель виконання робіт здійснювати згідно з вимогами ДБНА 2.1.-1-2014.

**Ключові слова:** відклади; ґрунти; свердловини; зондування; інженерно-геологічні елементи; вода; ділянка.

Рис.: 8. Табл.: 1. Бібл.: 21.

**Постановка проблеми.** Переважна більшість споруд і будівель на Чернігівщині закладається на четвертинних відкладах, які покривають майже всю її територію. Літологія та стратиграфічна повнота їх часто змінюється на площі й у розрізі, що становить проблему для будівництва. Тому кожна ділянка під будівництво будь-якого будівельного об'єкта повинна детально досліджуватись.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Неподалік досліджуваної ділянки інженерно-геологічні вишукування проводилися для благоустрою р. Стрижень, для проекту під будівництво будинку садибного типу на вул. Київській, 125 і попередні вишукування на будівельному майданчику на вул. Грибоєдова в м. Чернігові. Але результати цих робіт не публікувалися.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Невирішеною частиною проблеми була відсутність інформації про літологію, повноту геологічного розрізу, глибину знаходження, хімічний склад ґрунтових вод на ділянці вишукування.

**Мета статті.** Головною метою статті є ознайомлення зацікавленого читача з результатами наших досліджень.

**Виклад основного матеріалу.** Склад, обсяги та методи виконання робіт наведені в таблиці.

Таблиця

Склад, обсяги та методи виконання робіт

Види робіт	Одиниця виміру	Кількість	Методика виконання робіт
Польові роботи			
Буріння свердловин	шт./м	32/495	Спосіб буріння – механічний -ударно-канатний -17м.п. -шнековий -325 м.п.
Відбір монолітів	шт.	57	ДСТУ Б В.2.1.-8-2001
Статичне зондування	шт.	22	
Лабораторні роботи			
Консистенція	зразок	202	ДСТУ Б В.2.1.-17:2009
Гранулометричний склад ситовим методом	зразок	155	ДСТУ Б В.2.1.-19:2009
Щільність	зразок	57	ДСТУ Б В.2.1.-17:2009
Компресійні випробування	зразок	60	ДСТУ Б В.2.1-4-96
Випробування на зсув	зразок	15	ДСТУ Б В.2.1-4-96
Хімічний аналіз води	проба	3	ДСТУ ISO 5667-11:2005

За геоморфологічними ознаками ділянка вишукувань розташована на межі Чернігівсько-Городнянської моренно-зандрової рівнини та долини р. Стрижень. Для глибшого розуміння термінів «зандр», «зандрова рівнина», «морена» наведемо їхню узагальнену характеристику.

Морена (фр.), моренні відклади – відклади накопичені безпосередньо глетчерним льодом. Найпоширеніші основні морени, які формуються під льодом через екзарацію ложа при русі льодовика. У літологічному розумінні дуже різноманітні (від валунів до суглинків і глин), не відсортовані, містять рідкісну розсіяну гальку й валуни, зокрема ератичні, що мають льодовикове шліфування і шрами.

Шаруватість зазвичай відсутня. Глинисті різновиди морен мають велику щільність і малу пористість, іноді вони сланцеві. Локальні основні морени складаються переважно з місцевого матеріалу. Основні морени подекуди заміщуються або покриваються абляційними моренами (моренивитаювання), які утворюються переважно з матеріалу, що міститься всередині і на поверхні льодовика, коди він деградує. Має грубий, зазвичай щербчастий або піщаний склад, подекуди неясно шаруваті через перемив розталими водами.

Зандр, зандрова рівнина (поле) – полого хвиляста рівнина, розташована перед зовнішнім краєм кінцевих морен. Належить до зовнішньої зони льодовикового комплексу. Складена шаруватими осадами льодовикових вод – галечниками, гравієм, пісками, які є продуктами перемивання морени. Зандри – це зливні пологі плоскі конуси виносу великого радіуса (зандрові конуси, водороздільні зандри). До пізніших стадій розвитку зандр відносяться долинні зандри, що складають верхні тераси в річкових долинах. Сучасні зандри трапляються поблизу краю льодовиків аляскинського типу і льодовиків Ісландії. В Україні зандри сформувалися на Поліссі, зокрема на Чернігівщині.

Зандри долинні – верхні терасові поверхні в льодовикових долинах, які утворилися на завершальній фазі стоку льодовикових вод, коли ці води, після утворення водороздільних зандрів, почали розмивати пониження в рельєфі й почалося формування сітки ерозійних долин. Складені флювіогляціальними пісками поширеними в долинах з вільним стоком від краю льодовика.

Рельєф досліджуваної ділянки полого рівнинний з нахилом на північ, з абсолютними відмітками поверхні землі 119,2–127,5 м. В ньому виділено 2 елементи: друга надзаплавна тераса р. Стрижень і моренно-зандрова рівнина. Крім цього нижче глибини 6,5–12,1 м розташований похований елемент рельєфу – IV надзаплавна тераса Дніпра

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

[1]. Через значну різницю в абсолютних відмітках поверхні землі більшу частину ділянки, що перебуває під забудовою, довелося вирівняти. Для цього верхні ґрунти переміщені з південної частини в північну.

За тектонічними районуванням досліджена ділянка знаходиться в північно-західній частині Дніпровсько-Донецької западини, виповненої товстим шаром осадових порід.

Інженерно-геологічна модель будови ділянки ґрунтується на літолого-стратиграфічних колонках свердловин, графіках статичного зондування та геологічних розрізах (рис. 1-8).

Загалом при літолого-стратиграфічному розчленуванні розритої осадової товщі виділено згори до низу четвертинні відклади, які представлені на поверхні насипними ґрунтами. Під ними залягають верхньочетвертинні осади – алювіальні супіски, піски дрібно- та середньозернисті еолово-делювіальні, супіски причорноморського та бузького горизонтів. Середньочетвертинна частина розрізу представлена моренними суглинками, супісками, середньозернистими пісками, флювіогляційними дрібно- та середньозернистими пісками, супісками. Середньо-нижньочетвертинні алювіальні відклади представлені супісками пілуватими, дрібно- і середньозернистими пісками, важкими суглинками.

За результатом вишукування до глибини 20 м у розрізах свердловин виділено 18 верств та 26 інженерно-геологічних елементів (ІГЕ), кількість яких різна в різних стратиграфічних одиницях. Вони мають таку характеристику:

**Сучасні техногенні відклади – ІV.**

Верства І. ІГЕ 1. Насипний ґрунт – суміш піску, супіску, щебеню, будівельного сміття, решток рослин. Товщина відкладів становить переважно 0,5–1,4 м. Лише в районі свердловини 50 вона досягає 5,4 м.

**Верхньочетвертинні алювіальні відклади – а ІІІ.**

Верства ІІ. ІГЕ 2. Супісок жовто-сірий, твердий.

Верства ІІІ. ІГЕ 3. Пісок дрібнозернистий, жовтий, жовто-сірий, з низькою вологістю і середньою щільністю.

ІГЕ 4. Пісок дрібнозернистий, жовтий, жовто-сірий, від низьковологого до насиченого водою, щільний.

Верства ІV. ІГЕ 5. Пісок середньозернистий, ясно-сірий, низьковологий, середньо-щільний.

ІГЕ 6. Пісок середньозернистий, ясно-сірий, низької вологості, щільний.

**Верхньочетвертинні еоло-делювіальні відклади причорноморського горизонту vd ІІІ рс.**

Верства V. ІГЕ 7. Пісок дрібнозернистий, жовто-сірий, низької вологості, щільний.

ІГЕ 8. Пісок дрібнозернистий, жовто-сірий, низької вологості, щільний.

Верства VI. ІГЕ 9. Пісок середньозернистий, ясно-жовто-сірий, низької вологості, середньої щільності.

ІГЕ 10. Пісок середньозернистий, жовто-сірий, подекуди з бурими плямами через озалізнення (оглеєння), низької вологості, щільності.

Верства VII. ІГЕ 11. Супісок пілуватий, лесоподібний, просідний при додаткових навантаженнях, жовто-сірий з бурими плямами, твердий, у зоні «верховодки» текучий.

Потужність шару, м	Глибина шару, м	Абсолютна позначка підшови шару, м	Геолого-літологічний розріз	Відомості про воду	Відомості про проби	Номер ІГЕ	Назва відкладів та їх характеристика
0.70	0.70	123.07				1	Насипний ґрунт (суміш піску, супіску, ґрунтово-рослинного шару, будівельного сміття)
2.20	2.90	120.87	⊙		■ 1.00 ■ 2.50	7	Пісок дрібний, жовто-сірий, маловологий, середньої щільності
3.10	6.00	117.77			■ 4.00 ■ 5.50	15	Супісок піщанистий, жовто-бурий та червоно-бурий з гравієм та галькою кристалічних порід до 10% , пластичний
2.70	8.70	115.07	⊙		▲ 7.00 ▲ 8.50	20	Пісок середній, світло-жовто-сірий, середньої вологості, щільний
1.90	10.60	113.17	⊙		▲ 10.00	18	Пісок дрібний, жовто-сірий, середнього ступеню вологості, щільний
3.10	13.70	110.07		◆ 12.30 28.03.17	▲ 11.50 ▲ 13.00	22	Супісок пилюватий, жовто-сірий, пластичний
1.50	15.20	108.57	⊙		■ 14.50	23	Пісок мілкий, світло-жовто-сірий, насичений водою, середньої щільності
4.80	20.00	103.77			■ 16.00 ▲ 17.50 ▲ 18.50 ▲ 19.50	22	Супісок пилюватий, жовто-сірий, пластичний

Рис. 1. Розріз розкритий свердловиною 24, вертикальний масштаб 1:100



Потужність шару, м	Глибина шару, м	Абсолютна позначка підповерхні шару, м	Геолого-літологічний розріз	Відомості про воду	Відомості про проби	Номер ІГЕ	Назва відкладів та їх характеристика
0.70	0.70	125.50				1	Насипний ґрунт (суміш піску, супіску та інш.)
1.30	2.00	124.20	⊙		■ 1.50	6	Пісок середній, щільний
3.60	5.60	120.60			■ 3.00 ■ 4.50	12	Супісок пилуватий, лесовидний, просідний при додаткових навантаженнях, твердий
1.60	7.20	119.00			▲ 6.00	14	Суглинок легкий, піщанистий, жовто-бурий, червоно-бурий з гравієм та галькою кристалічних порід до 10%, тугопластичний
1.70	8.90	117.30			■ 7.50 ■ 8.50	15	Супісок піщанистий, жовто-бурий та червоно-бурий з гравієм та галькою кристалічних порід до 10% , твердий
1.50	10.40	115.80	⊙		■ 10.00	20	Пісок середній, світло-жовто-сірий, малого ступеню водонасичення, щільний
3.10	13.50	112.70			■ 11.50 ■ 13.00	22	Супісок пилуватий, жовто-сірий, твердий
0.70	14.20	112.00	⊙		▲ 14.00	23	Пісок мілкий, світло-жовто-сірий, малого ступеню вологості, середньої щільності
1.90	16.10	110.10		↓ 14.60 28.03.17	▲ 15.50	22	Супісок пилуватий, жовто-сірий, пластичний
2.10	18.20	108.00	⊙		▲ 17.00 ▲ 18.00	24	Пісок мілкий, світло-жовто-сірий, насичений водою, щільний
1.80	20.00	106.20			▲ 19.50	22	Супісок пилуватий, жовто-сірий, пластичний

Рис. 2. Розріз розкритий свердловиною 32, вертикальний масштаб 1:100

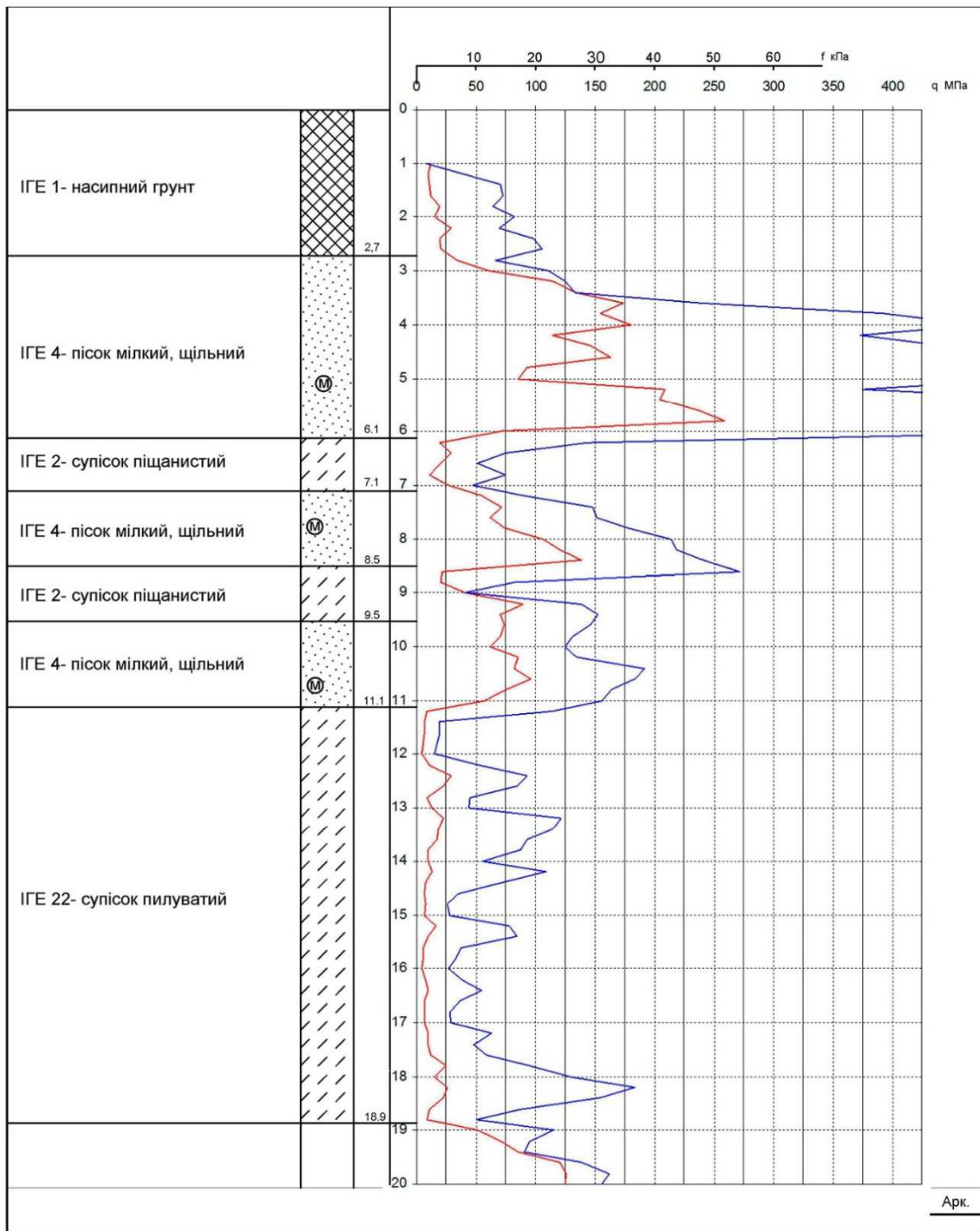


Рис. 3. Графік статичного зондування в точці 20

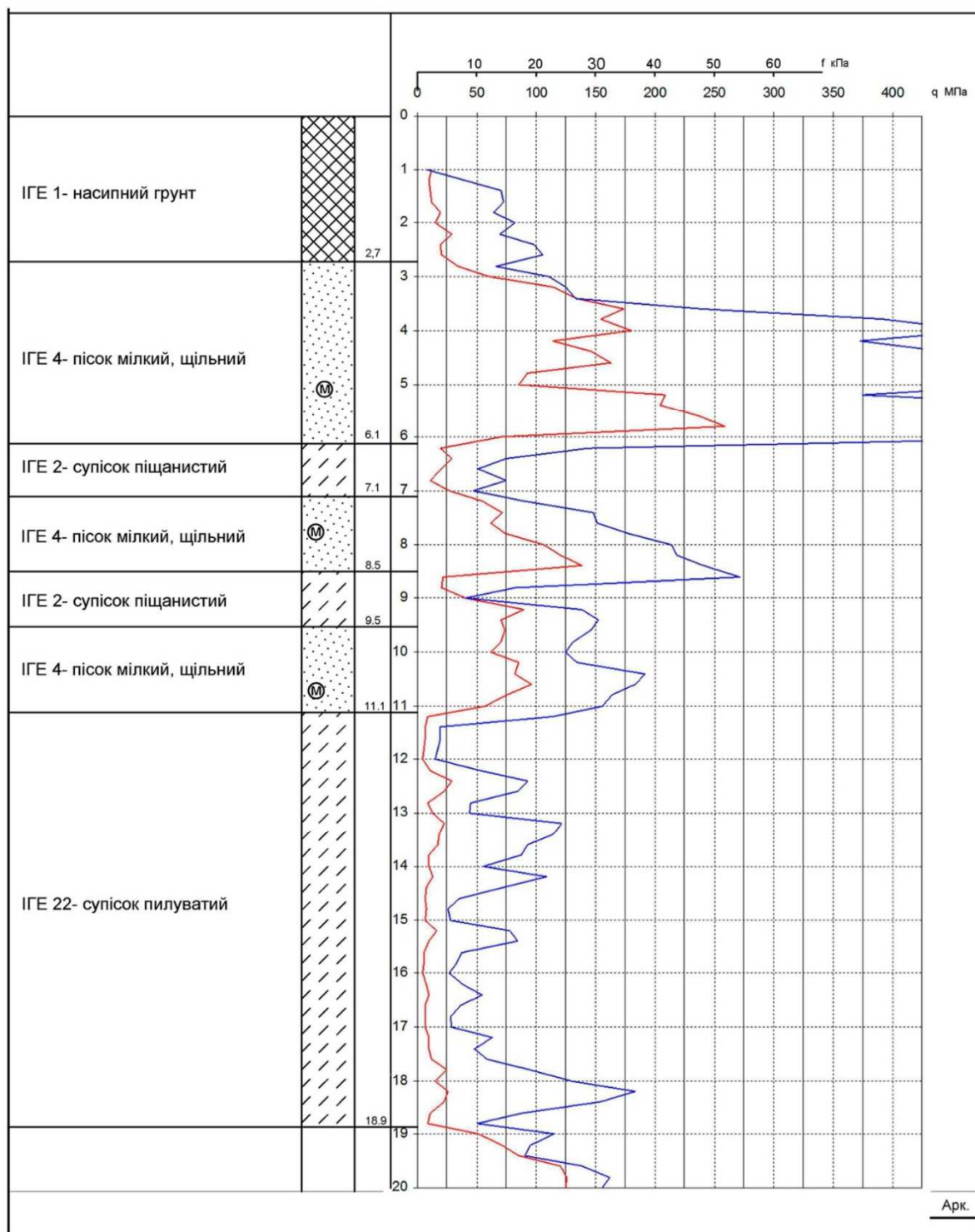
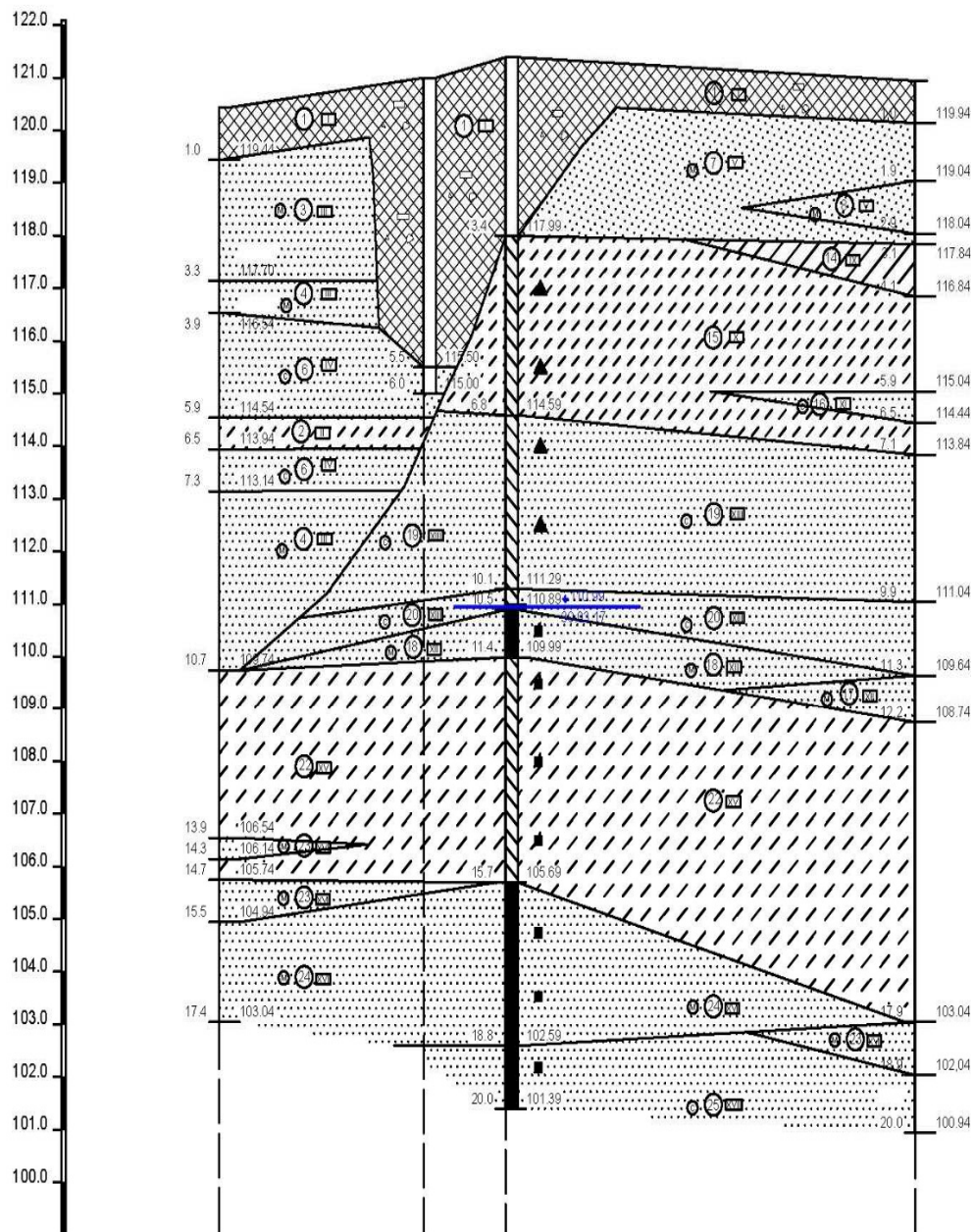


Рис. 4. Графік статичного зондування в точці 40



Найменування та №№ виробок	ТС3 3	сврд 50	сврд 4	ТС3 5
Абс. позначка гирла, (м)	120.44	121.00	121.39	120.94
Відстань (м)		25.0	10.0	50.0

Рис. 5. Геологічний розріз 1-1', масштаб верт. 1:100, гор. 1:500

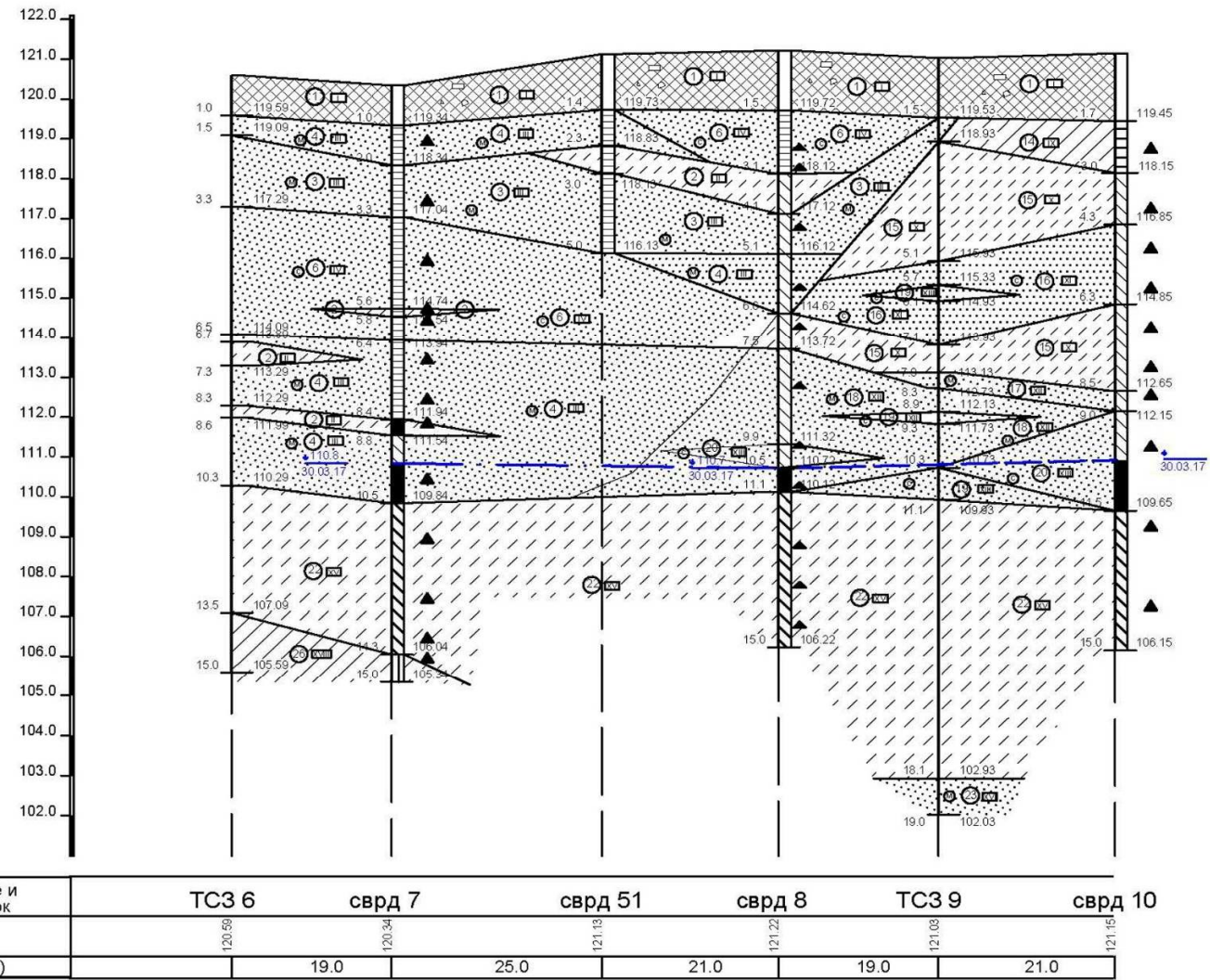


Рис. 6. Геологічний розріз 2-2', масштаб верт. 1:100, гор. 1:500

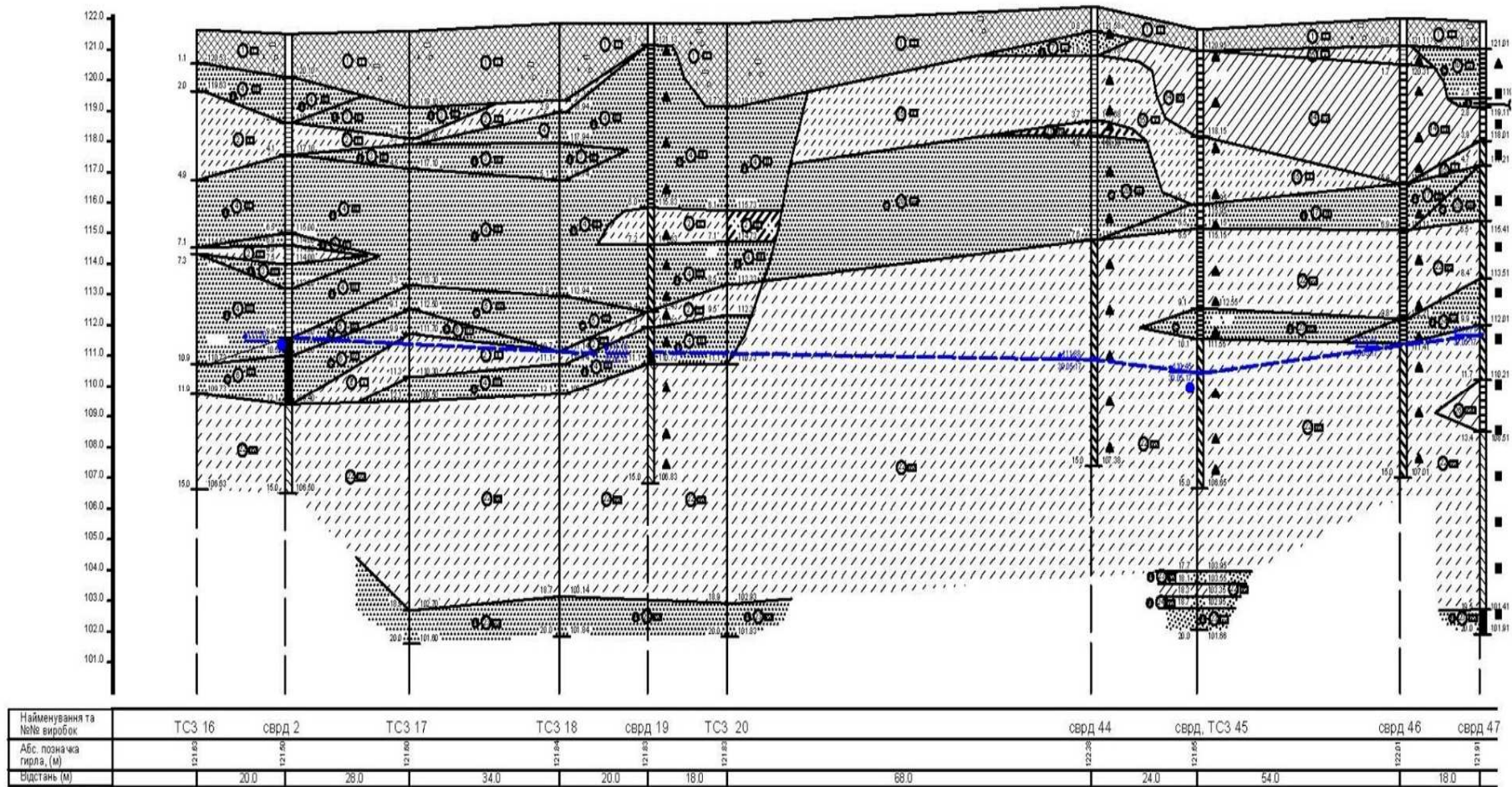


Рис. 7. Геологічний розріз 4-4', масштаб верт. 1:100, гор. 1:500

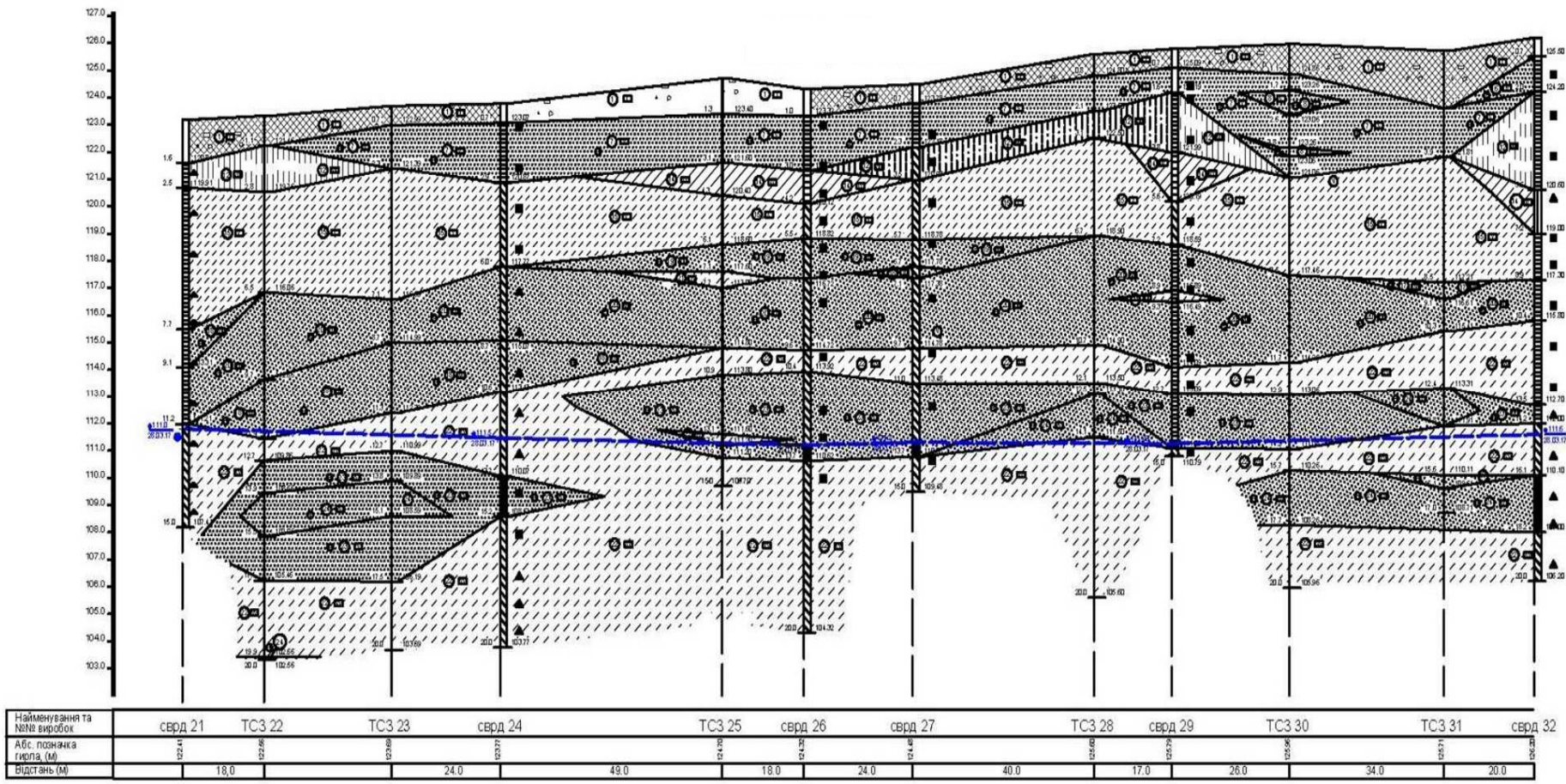
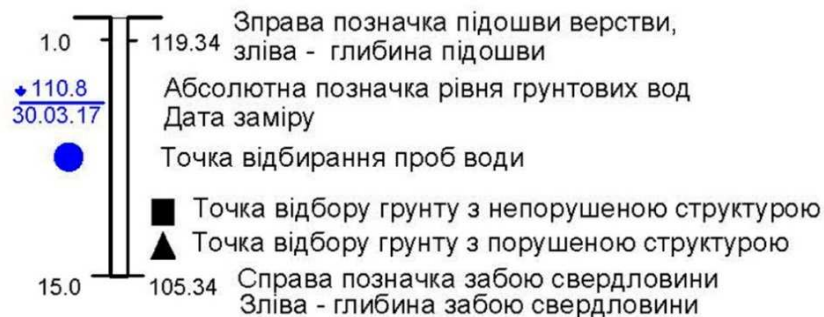


Рис. 8. Геологічний розріз 5-5', масштаб верт. 1:100, гор. 1:500

**УМОВНІ ЗНАКИ**БУРОВА СВЕРДЛОВИНАСТРАТИГРАФІЧНІ

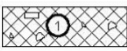






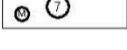
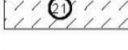
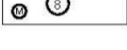

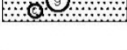
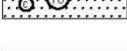
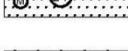
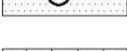
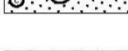

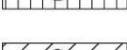

- t IV сучасні техногенні відклади
- vd III рс вехньочетвертинні еолово-делювіальні відклади  
причорноморського горизонту
- a III верхньочетвертинні алювіальні відклади
- q II dn середньочетвертинні моренні ґрунти  
дніпровського часу
- f II dn середньочетвертинні флювіогляціальні ґрунти  
дніпровського часу
- a I-II нижньо-середньочетвертинні алювіальні ґрунти  
IV надзапленої тераси р. Дніпро

ВОДОНАСИЧЕННЯ ТА КОНСИСТЕНЦІЯ ГРУНТІВГЕОЛОГІЧНИЙ РОЗРІЗ

- II Номер верстви
- ② Інженерно-геологічний елемент (ІГЕ)

Умовні знаки до рис. 1-8



	Насипний ґрунт (суміш піску, супіску, ґрунтового-рослинного шару, щебню, будівельного сміття)		Супісок піщанистий, жовто-бурий, червоно-бурий, з гравієм та галькою кристалічних порід до 10%, твердий та пластичний
	Супісок піщанистий, жовто-сірий, твердий		Пісок середній, світло-сірий, жовто-сірий, малого ступеню вологості, щільний
	Пісок мілкий, жовтий та жовто-сірий, середньої щільності		Пісок мілкий, жовто-сірий, малого ступеню вологості, середньої щільності
	Пісок мілкий, жовтий та жовто-сірий, щільний		Пісок мілкий, сірий, жовто-сірий, малого ступеню вологості, щільний
	Пісок середній, світло-сірий, середньої щільності		Пісок середній, сірий, жовто-сірий різного ступеню вологості, середньої щільності
	Пісок середній, світло-сірий, щільний		Пісок середній, світло-жовто-сірий, від маловологого до насиченого водою, щільний
	Пісок мілкий, жовто-сірий, середньої щільності		Супісок піщанистий, жовто-сірий, твердий та пластичний
	Пісок мілкий, жовто-сірий, щільний		Супісок пилуватий, періодом ущільнений, жовто-сірий, переважно пластичний
	Пісок середній, світло-жовто-сірий, середньої щільності		Пісок мілкий, світло-жовто-сірий від малого ступеню водонасичення до насиченого водою, середньої щільності
	Пісок середній, жовто-сірий іноді з бурими плямами озалізнення (оглеєння), щільний		Пісок мілкий, світло-жовто-сірий, переважно насичений водою, щільний
	Супісок пилуватий, лесовидний, просідний при додаткових навантаженнях, жовто-сірий з жовто-бурими плямами озалізнення		Пісок середній, світло-сірий, жовто-сірий, насичений водою, щільний
	Супісок лесовидний, пилуватий, просідний при додаткових навантаженнях, жовто-сірий, твердий		Суглинок віжкий, пилуватий, напівтвердий та тугопластичний
	Супісок лесовидний, пилуватий, просідний при додаткових навантаженнях, жовто-сірий, текучий		
	Суглинок лепкий, піщанистий, жовто-бурий, червоно-бурий з гравієм та галькою кристалічних порід до 10%, напівтвердий та тугопластичний		

*Умовні знаки до рис. 1-8*

Верства VIII. ІГЕ 12. Супісок пилуватий, лесоподібний, просадний при додаткових навантаженнях, жовто-сірий, твердий.

ІГЕ 13. Супісок пилуватий, лесоподібний, просадний при додаткових навантаженнях, жовто-сірий, текучий.

**Середньочетвертинні моренні відклади дніпровського горизонту qII<sub>dn</sub>.**

Верства IX. ІГЕ 14. Суглинок легкий, піщанистий, жовто-бурий, червоно-бурий із гравієм та галькою кристалічних порід до 10 %, твердий, тугопластичний.

Верства X. ІГЕ 15. Супісок жовто-бурий, червоно-бурий з гравієм та галькою кристалічних порід до 10 %, твердий, пластичний.

Верства XI. ІГЕ 16. Пісок середньозернистий, ясно-сірий, низької вологості, щільний.

**Флювіогляціальні відклади дніпровського горизонту fII<sub>dn</sub>.**

Верства XII. ІГЕ 17. Пісок дрібнозернистий, жовто-сірий, низької вологості, середньої щільності.

ІГЕ 18. Пісок дрібнозернистий, жовто-сірий, низької вологості, щільний.

Верства XIII. ІГЕ 19. Пісок середньозернистий, сірий, жовто-сірий, низької вологості, середньої щільності.

ІГЕ 20. Пісок середньозернистий, ясно-жовто-сірий, низької вологості, щільний.

Верства XIV. ІГЕ 21. Супісок жовто-сірий, твердий, пластичний.

**Верхньо-середньо-нижньочетвертинні алювіальні відклади надзаплавної тераси Дніпра а-I-II.**

Верства XV. ІГЕ 22. Супісок пилюватий, жовто-сірий подекуди ущільнений, жовто-сірий, пластичний.

Верства XVI. ІГЕ 23. Пісок дрібнозернистий, ясно-жовто-сірий, від низької вологості до насиченого водою, середньої щільності.

ІГЕ 24. Пісок дрібнозернистий, ясно-жовто-сірий, від низької вологості до насиченого водою, щільний.

Верства XVII. ІГЕ 25. Пісок середньозернистий, ясно-сірий, від низької вологості до насиченого водою, щільний.

Верства XVIII. ІГЕ 26. Суглинок важкий, пилюватий сірий, напівтвердий, тугопластичний.

Докладне вивчення геологічного розрізу досліджуваної ділянки свідчить про те, що він складений четвертинними причорноморськими й бузькими осадовими відкладами – пісками, супісками, суглинками, глинами, лісами.

Виділення інженерно-геологічних елементів проведено згідно з ДСТУ Б.В.2.1-5-96 на підставі вивчення аналізу просторової зміни літології, гранулометрії, природної вологості, меж та числа пластичності, коефіцієнта щільності в лабораторії та результатів статичного зондування та засвідчило спорадичне їх розповсюдження.

Лесоподібні ґрунти ІГЕ 11 та 12, визначені як просадний при додаткових навантаженнях. За наявності «верховодки» вони стають текучими.

Нормативні та розрахункові показники фізико-механічних властивостей ґрунтів, які використані у процесі досліджень долини Стрижня [2; 3], близьких забудов [4], попередніх вишукувань [5].

Ґрунтові води в районі будівельного майданчика розташовані на глибині 9,5 і більше метрів. Потік ґрунтових вод направлений з південного сходу на північний захід. Досліджувана ділянка належить до підтоплюваних із за «верховодки».

На моренно-зандровій рівнині на глибині 3,5 м свердловиною 1 і статичним зондуванням в точці 39 встановлена наявність «верховодки» на моренних відкладах. При веденні бурових робіт сліди оглеювання осадів помічені з глибини 1,7 м, що може свідчити про можливість залягання «верховодки» на цьому рівні. На границі з терасою, де моренні відклади розмиті, «верховодка» занурюється до рівня горизонту ґрунтових вод. За цими обставинами територія моренно-зандрової рівнини, в межах будівельної ділянки, віднесена до підтоплюваної. Вишукування проводилися згідно з будівельними стандартами України та будівельними нормами [6-21].

**Висновки відповідно до статті.**

1. За результатами виконаних робіт встановлено, що розкрита товща четвертинних осадових відкладів на ділянці неоднорідна, окремі частини її мають спорадичне поширення.

2. Ґрунти ІГЕ 11,12 просадні при додаткових навантаженнях.

3. На моренно-зандровій рівнині наявна «верховодка» на ґрунтах ІГЕ 14,15. При цьому ґрунти ІГЕ 11,12 стають текучими.

4. При розрахунках палевих фундаментів необхідно використовувати дані статичного зондування.

5. Через можливе підтоплення території з природних та антропогенних причин при проектуванні потрібно передбачити:

- гідроізоляцію фундаментів і підлог підвалів;
- регулювання поверхневого стоку;
- облаштування водопровідних комунікацій для запобігання втрати води і промислових стоків;

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

- захисні заходи, зокрема дренаж для забезпечення стійкості будівель до деформацій підмурків, нормальних умов будівництва й експлуатації заглиблених приміщень із наявністю «верховодки»;

- при зміні плану розташування забудов та поверховості будівель виконання робіт здійснювати згідно з вимогами ДБНА 2.1.-1-2014.

**Список використаних джерел**

1. *Горецкий Г. И.* Аллювиальная летопись Великого Пра-Днепра / Г. И. Горецкий. – М. : Наука. 1970. – 491 с.
2. *Отчёт об инженерных изысканиях для благоустройства р. Стрижень в г. Чернигове.* – Х. : УкрГИИТИЗ, 1976.
3. *Техническое заключение об инженерных изысканиях благоустройства р. Стрижень в г. Чернигове.* – Х. : УкрГИИТИЗ, 1976.
4. *Технічний звіт про інженерно-геологічні вишукування для проекту будівництва будинку садибного типу по вул. Київській, 125 в м. Чернігові.* – Чернігів : ЗАТ «Чернігівбудрозвідування», 2007.
5. *Архів № 15016.* Попередні інженерно-геологічні вишукування на будівельній площадці по вул. Грибосєдова в м. Чернігові. – Чернігів : ТОВ «Чернігівбудрозвідування», 2015.
6. *ДСТУ Б В.2.1.-5-2-96.* Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи статистичної обробки результатів випробувань.
7. *ДСТУ Б В.2.1-2-96.* Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Класифікація.
8. *ДБН В.2.1-10-2009.* Основи та фундаменти споруд. Київ, Мінрегіонбуд України 2009.
9. *ДБН В.2.1-1-2008.* Інженерні вишукування для будівництва.
10. *ДСТУ Б В.2.1-17:2009.* Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей.
11. *ДСТУ Б В.2.1-8-2001.* Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Відбирання, упакування, транспортування і зберігання зразків.
12. *ДСТУ Б В.2.1-19:2009.* Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) і мікроагрегатного складу.
13. *ДСТУ ІБО 5667-11:2005.* Відбирання проб. Частина 11. Настанови щодо відбирання проб підземних вод.
14. *ДСТУ Б В.2.1-4-96.* Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності та деформованості.
15. *ДСТУ Б А.1.1-25-94.* Система стандартизації та нормування в будівництві. Грунти. Терміни та визначення.
16. *ДСТУ Б А.2.4-13:2009.* Умовні графічні зображення та умовні позначки в документації з інженерно-геологічних вишукувань.
17. *ДСТУ Б А.2.4-4:2009. СПДБ.* Основні вимоги до проектної та робочої документації.
18. *ДБН В.1.2-2:2006.* Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження та впливи. Норми проектування.
19. *ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010.* Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.
20. *ДБН В.1.1-12:2006.* Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівництво у сейсмічних районах України.
21. *ДБН В.1.1-12:2006.* Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Основні положення проектування.

**References**

1. Goretiskii, G. I. (1970). *Alluvialnaia letopis Velikogo Pra-Dnepra [Alluvial Chronicle of the Great Pra-Dnieper]*. Moscow: Nauka [in Russian].
2. *Otchet ob inzhenernykh izyskaniyakh dlia blagoustroistva r. Strizhen v g. Chernigove [Report on engineering surveys for the improvement of the river Strizhen in the city of Chernigov]* (1976). Kharkiv: UkrGIINTIZ [in Russian].
3. *Tekhnicheskoe zakliuchenie ob inzhenernykh izyskaniyakh blagoustroistva r. Strizhen v g. Chernigove [Technical conclusion on the engineering survey of the improvement of the river Strizhen in the city of Chernigov]* (1976). Kharkiv: UkrGIINTIZ [in Russian].

4. *Tekhnichniy zvit pro inzhenerno-heolohichni vyshukuvannya dlia proektu budivnytstva budynku sadybnogo typu po vul. Kyivskii, 125 v m. Chernihovi. ZAT «Chernihivbudrozviduvannya». [Technical report on engineering-geological surveys for the project of building a house-type building on the street. Kiev, 125 in the city of Chernihiv] (2007). Chernihiv: ZAT «Chernihivbudrozviduvannya» [in Ukrainian].*

5. *Poperedni inzhenerno-heolohichni vyshukuvannya na budivelnii ploshchadtsi po vul. Hryboiedova v m. Chernihovi. Arkhiv № 15016 [Preliminary engineering-geological surveys on the construction site on the street. Griboyedov in the city of Chernihiv. Archive № 15016] (2015). Chernihiv: ZAT «Chernihivbudrozviduvannya» [in Ukrainian].*

6. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Vidbyrannia, upakuvannia, transportuvannia i zberihannia zrazkiv. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Sampling, packaging, transportation and storage of samples] (1996). DSTU B V.2.1-8-96 from 01.11.1996. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

7. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Klasyfikatsiia [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Classification] (1995). DSTU B V.2.1-2-96 from 19.04.1996. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

8. *Osnovy ta fundamenti sporud [Bases and foundations of buildings] (2009). DBN V.2.1-10-2009. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].*

9. *Inzhenerni vyshukuvannya dlia budivnytstva. [Engineering survey for construction] (2008). DBN V.2.1-1-2008 from 2008-07-01. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].*

10. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia fizychnykh vlastyvostei. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of physical properties] (2009). DSTU B V.2.1-17:2009 from 2010-10-01. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].*

11. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Vidbyrannia, upakuvannia, transportuvannia i zberihannia zrazkiv. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Sampling, packaging, transportation and storage of samples] (2001). DSTU B V.2.1-8-2001 from 2010-10-01. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

12. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia hranulometrychnoho (zernovoho) i mikroahrehatnoho skladu. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of particle size (grain) and mikroagregative composition]. (2010). DSTU B V.2.1-19.2009 from 2010-10-01. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

13. *Vidbyrannia prob. Chastyna 11. Nastanovy shchodo vidbyrannia prob pidzemnykh vod. [Sampling. Part 11 Guidance on sampling of groundwater] (2006). DSTU ISO 5667-11:2005 from 2006-07-01. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

14. *Osnovy ta pidvalyny budynkiv i sporud. Grunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti ta deformovanosti. [Bases and foundations of buildings and structures. Soils. Methods of laboratory determination of strength and deformation characteristics] (1997). DSTU B V.2.1-4-96 from 01.04.1997. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

15. *Systema standartyzatsii ta normuvannia v budivnytstvi Grunty. Terminy ta vyznachennia [The system standardization and normalization in the construction of Soils. Terms and definitions] (1994). DSTU B A. 1.1-25-94 from 2010-01-01. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

16. *Umovni hrafichni zobrazhennia ta umovni poznachky v dokumentatsii z inzhenerno-heolohichnykh vyshukuvan. [Conventional graphics and explanations in the documentation of the geotechnical survey] (2010). DSTU B A.2.4-13:2009 from 2010-01-01. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

17. *Osnovni vymohy do proektoi ta robochoi dokumentatsii. [Basic requirements for the design and documentation] (2009). DSTU B A.2.4.-4:2009. SPDB from 2010-01-01. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].*

18. *Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnykh ob'ektiv, Navantazhennia ta vplyvy. Normy proektuvannia. [System reliability and safety of construction projects, Shipping and influences. Design standards] (2006). DBN V.1.2-2:2006 from 01.01.2007. Kyiv: MINBUD Ukrainy [in Ukrainian].*

19. *Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia [Protection from dangerous geological processes, operational*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

harmful effects of fire. Construction climatology] (2010). *DSTU-N B V.1.1-27:2010*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].

20. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivnytstvo u seismichnykh raionakh Ukrainy [Protection from dangerous geological processes, operational harmful effects of fire. Construction in seismic areas of Ukraine] (2006). *DBN V.1.1-12:2006 from 2007-01-02*. Kyiv: MINBUD Ukrainy [in Ukrainian].

21. Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. [Protection from dangerous geological processes, operational harmful effects of fire. Basic design points] (2006). *DBN V.1.1-12:2006 from 2007-01-02*. Kyiv: MINBUD Ukrainy [in Ukrainian].

UDC 624-057(477.51)

*Volodymyr Ivanyshyn, Viktor Buhay, Valentyn Dudko, Oleksii Penkovets*

### FIELD AND LABORATORY ENGINEERING-GEOLOGICAL STUDIES OF THE SITE FOR THE CONSTRUCTION OF APARTMENT BUILDINGS IN THE NORTHERN PART OF CHERNIHIV

**Urgency of the research.** *Geotechnical investigations (research) in any part of the construction on the Chernihiv territory is always relevant, since quaternary sediments that cover its entire, heterogeneous physical and mechanical properties of a very changing the space and depth.*

**Target setting.** *Most of the buildings and structures in Chernigov are mostly laid on quaternary sediments that cover its entire territory. The lithology and stratigraphic completeness of it often changes in area and section, which is a problem in construction. Therefore, each site for the construction of any object should be investigated in detail.*

**Actual scientific researches and issues analysis.** *Directly on the site, which has been the object of research, the work was not carried out earlier.*

**Uninvestigated researches and issues analysis.** *Unsolved part of the problem was the lack of results of geological engineering survey on the site, which is considered.*

**The research objective.** *The goal of the work was to study the engineering and geological conditions of the site, where construction of residential buildings is planned.*

**The statement of the basic materials.** *The studied site is located between the Chernigov-Gorodnya moraine-zanadrovoy plain and the valley of the river Strugen. Potectonic zoning is the territory of the survey refers to the northern part of the Dnieper-Donets Basin. The geological engineering model of the site structure, investigated to a depth of 20 m, is based on engineering-geological sections of wells (lithological columns), static sounding graphs and geological sections. In the sections of the wells, 18 layers and 26 engineering-geological elements were identified. Wells open up sediments are represented from top to bottom by loose soils, upper-middle- and middle-lower-quaternary sediments. Groundwater of the non-pressure type is located at a depth of 9.5 meters or more.*

**Conclusions.** *1. According to the results of the performed work, it was established that the thickness of the quaternary sedimentary deposits on the site is heterogeneous; some parts of it are sporadically distributed. 2. Soil EGE 11, 12 eating with additional loads. 3. On the moraine-frontal plain there is a upstream water on the soils of EGE14,15. In this case, the soil EGE 11, 12 become fluid. 4. When calculating the foundation foundations, it is not necessary to use static sounding data. 5. Because of the possible flooding of the territory from natural and anthropogenic causes during design, it is necessary to provide: waterproofing of basements and floors of basements; regulation of surface runoff; installation of water supply communications for the prevention of water and industrial waste water losses; protective measures, in particular drainage to ensure the stability of the buildings to the deformations of the lobes, normal conditions of construction and operation of the deepened premises with the presence of a upstream water; when changing the layout of the buildings and the surface of the buildings, perform the works in accordance with the requirements of the DBNA 2.1.-1-2014.*

**Keywords:** *sediments; soil; well; sounding; engineering-geological elements; water; plot.*

*Fig.: 8. Table: 1. References: 21.*

УДК 624-057(477.51)

*Владимир Иванович, Виктор Бугай, Валентин Дудко, Алексей Пеньковец*

### ПОЛЕВЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УЧАСТКА ПОД СТРОИТЕЛЬСТВО МНОГОКВАРТИРНЫХ ДОМОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ г. ЧЕРНИГОВА

**Актуальность темы исследования.** *Инженерно-геологические изыскания (исследования) на любом участке под строительство на территории Чернигова всегда актуальны, так как четвертичные отложения, которые покрывают всю ее, неоднородны, физико-механические свойства их очень меняются пространственно и по глубине.*

**Постановка проблемы.** *Преимущественно большинство зданий и сооружений в Чернигове закладывается на четвертичных отложениях, которые покрывают всю его территорию. Литология и стратиграфическая полнота ее часто меняется на площади и разрезе, что является проблемой при строительстве. Поэтому каждый участок под строительство любого объекта должен детально исследоваться.*

*Анализ последних исследований и публикаций.* Непосредственно на участке, который был объектом изысканий, ранее работа не проводилась.

*Выделение неисследованных частей общей проблемы.* Нерешенной частью проблемы было отсутствие результатов инженерно-геологических изысканий на участке, который рассматривается.

*Постановка задачи.* Целевой задачей работ было изучение инженерно-геологических условий участка, на котором планируется строительство жилых домов.

*Изложение основного материала.* Изученный участок находится между Чернигово-Городнянской моренно-зандровой равниной и долиной р. Стрижень. Потектоническим районированием территория изысканий относится к северной части Днепровско-Донецкой впадины. Инженерно-геологическая модель строения участка, исследовано до глубины 20 м, основывается на инженерно-геологических разрезах скважин (литологических колонках), графиках статического зондирования и геологических разрезах. В разрезах скважин выделено восемнадцать слоев и 26 инженерно-геологических элементов. Вскрыты скважинами осадки представлены сверху донизу насыпными грунтами, верхне-средне- и средне-нижне- четвертичными отложениями. Грунтовые воды безнапорного типа находятся на глубине 9,5 и более метров.

*Выводы и рекомендации.* 1. По результатам выполненных работ установлено, что раскрыта толща четвертичных осадочных отложений на участке неоднородна, отдельные части ее имеют спорадическое распространение. 2. Почвы ИГЭ 11,12 просадочные при дополнительных нагрузках. 3. На моренно-зандровой равнине имеется «верховодка» на почвах ИГЭ 14,15. При этом почвы ИГЭ 11,12 становятся текучими. 4. При расчетах палевых фундаментов необходимо использовать данные статического зондирования. 5. Из-за возможного подтопления территории с природных и антропогенных причин при проектировании нужно предусмотреть: гидроизоляцию фундаментов и полов подвалов; регулирование поверхностного стока; обустройство водопроводных коммуникаций для предотвращения потери воды и промышленных стоков; защитные меры, в частности дренаж для обеспечения устойчивости зданий к деформациям фундаментов, нормальных условий строительства и эксплуатации заглубленных помещений при наличии «верховодки»; при изменении плана расположения застроек и поверхности зданий выполнения работ в соответствии с требованиями ДБНА 2.1.-1-2014.

**Ключевые слова:** отложение; почва; скважина; зондирование; инженерно-геологические элементы; вода; участок.

Рис.: 8. Табл.: 1. Библ.: 21.

**Іванишин Володимир Андрійович** – доктор геологічних наук, професор, професор кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Иванишин Владимир Андреевич** – доктор геологических наук, профессор, профессор кафедры геодезии, картографии та землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Ivanyshyn Volodymyr** – Doctor of Geological Sciences, Professor, Professor of the Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** gkz.kaf@gmail.com

**ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-2394-1837>

**Бугай Віктор Григорович** – начальник відділу, ТОВ «Чернігівбудрозвідання» (просп. Миру, 233а, м. Чернігів, 14006, Україна).

**Бугай Виктор Григорьевич** – начальник отдела, ООО «Черниговстройразведывание» (просп. Мира, 233а, г. Чернигов, 14006, Украина).

**Buhay Viktor** – Head of Department, Ltd. «Chernihivbudrozviduvannya» (223a Myru Av., 14006 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** 691040@ukr.net

**Дудко Валентин Іванович** – провідний інженер, ТОВ «Чернігівбудрозвідання» (просп. Миру, 233а, м. Чернігів, 14006, Україна).

**Дудко Валентин Іванович** – ведущий инженер, ООО «Черниговстройразведывание» (просп. Мира, 233а, г. Чернигов, 14006, Украина).

**Dudko Valentyn** – Principal Engineer, Ltd. «Chernihivbudrozviduvannya» (223a Myru Av., 14006 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** 691040@ukr.net

**Пеньковець Олексій Олександрович** – технік-геолог, ТОВ «Чернігівбудрозвідання» (просп. Миру, 233а, м. Чернігів, 14006, Україна).

**Пеньковец Алексей Александрович** – техник-геолог, ООО «Черниговстройразведывание» (просп. Мира, 233а, г. Чернигов, 14006, Украина).

**Penkovets Oleksii** – technician-geologist, Ltd. «Chernihivbudrozviduvannya» (223a Myru Av., 14006 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** 691040@ukr.net

*Сергій Крячок*

## ВИЗНАЧЕННЯ СТАЛОЇ ВІДДАЛЕМІРА ЕЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА В ЛІНІЙНО-КУТОВІЙ МЕРЕЖІ

**Актуальність теми дослідження.** В Україні нині широко застосовуються новітні методи створення геодезичних мереж із використанням супутникових технологій. Актуальним залишається побудова полігонометричних мереж із використанням електронних тахеометрів.

**Постановка проблеми.** Для визначення відстаней, виміряних електронними тахеометрами, необхідно періодично визначати постійну поправку (сталу) віддалеміра електронного тахеометра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, які присвячені висвітленню способів визначення сталої віддалемірів електронних тахеометрів.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Потребує подальшого розвитку розробка методик визначення сталої не як окремої вимірювальної процедури, а за результатами вимірювань у геодезичних мережах.

**Постановка завдання.** Необхідно розробити методику визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за даними вимірювань у лінійно-кутовій мережі у вигляді трикутника з відомою базисною стороною.

**Виклад основного матеріалу.** Розглянуто особливості методику визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за даними вимірювань у лінійно-кутовій мережі у вигляді трикутника з відомою базисною стороною, вимірними двома сторонами та вимірними щонайменше двома горизонтальними кутами. Виконано апробацію розробленої методику на конкретній лінійно-кутовій мережі з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 та відбивача від електронного віддалеміра СТ5 «Блеск».

**Висновки відповідно до статті.** Значення сталої дорівнює  $-44$  мм, яке визначено із середньою квадратичною похибкою  $4,7$  мм. У результаті розрахунків встановлено, що точність визначення сталої за даними вимірів у наведеній лінійно-кутовій мережі в  $1,9$  рази вища за точність її визначення з використанням базисної відстані.

**Ключові слова:** геодезична мережа; стала електронного віддалеміра; точність вимірювання відстаней; електронний тахеометр.

*Рис.: 2. Табл.: 2. Бібл.: 12.*

**Актуальність теми дослідження.** В Україні нині широко застосовуються нові методи створення геодезичних мереж на основі супутникових технологій [1; 2]. Однак на територіях населених пунктів із багатоповерховою забудовою, у лісистій місцевості застосування супутникових методів наштовхується на такі завади, як багатопроменевість поширення сигналу, недостатня кількість супутників для надійного визначення місцеположення приймача [3]. Тому застосування полігонометричного методу для створення опорних планових мереж не втратило свого значення.

**Постановка проблеми.** На сучасному етапі розвитку технологій геодезичного приладобудування значно підвищилась точність вимірювання відстаней із використанням електронних тахеометрів. Це є підґрунтям для підвищення точності визначення планового положення геодезичних пунктів, координати яких отримані полігонометричним методом. Тому поєднується застосування супутникових технологій та електронної полігонометрії [3; 4].

Для визначення відстаней, виміряних електронними тахеометрами, необхідно знати постійну поправку віддалеміра електронного тахеометра. Потреба в цьому виникає через незбіг осей обертання електронного віддалеміра й відбивача з випромінюючою поверхнею віддалеміра та відбивною поверхнею відбивача. Значення постійної поправки (далі – стала) можна знайти в паспорті електронного тахеометра або інтернет-джерелах. Для отримання надійного її значення, краще визначити величину поправки [5]. Особливо це стосується випадку, коли використовується відбивач від іншого типу електронного віддалеміра чи тахеометра.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Існують різні способи визначення сталої електронного віддалеміра [6; 7; 8; 9]. Характерною їхньою особливістю є те, що вони реалізуються як самостійна процедура. У патенті на корисну модель [10] визначення сталої виконується за результатами вимірювань, необхідних для вирішення іншої задачі – визначення планових координат  $X$ ,  $Y$  геодезичного пункту під час прив'язки до стінних знаків. Ці ж вимірювання є достатніми і для визначення сталої. Геодезичну мережу у вигляді три-

кутника, яка виникає під час прив'язки до стінних знаків, можна назвати лінійно-кутовою, оскільки вимірюються дві сторони трикутника та горизонтальний кут між ними.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Визначення сталої віддалеміра, який вбудовано в електронний тахеометр, за даними вимірювань у лінійно-кутовій мережі для визначення координат її пунктів, виключаючи безпосереднє її визначення у вигляді окремої вимірювальної процедури, потребує подальшого розвитку.

**Мета статі.** Головною метою цієї роботи є розробка методики визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за даними вимірювань у лінійно-кутовій мережі у вигляді трикутника з відомою базисною стороною, вимірними двома сторонами та вимірними щонайменше двома горизонтальними кутами.

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 1 наведено схему, яка дозволяє однозначно визначити сталу в згаданій вище лінійно-кутовій мережі.

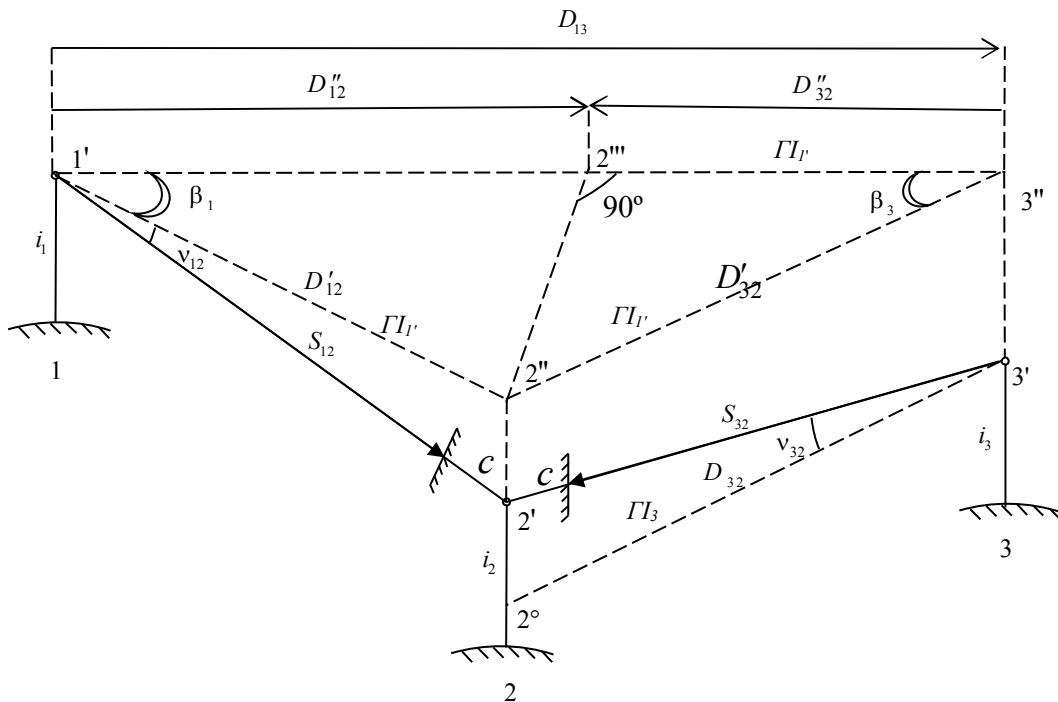


Рис. 1. До визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра в лінійно-кутовій мережі

На рис. 1  $i_1, i_2, i_3$  – висоти інструментів. На станції 1 вимірюється горизонтальний кут  $\beta_1$ , у напрямку на візирні марки, встановлені на пунктах 2 та 3, кут нахилу  $\nu_{12}$  в напрямку на пункт 2 та похилу відстань  $S_{12}$  – на відбивач, встановлений на пункті 2. На пункті 3 вимірюється: горизонтальний кут  $\beta_3$  – на візирні марки пунктів 1 та 2; кут нахилу  $\nu_{32}$  – на відбивач пункту 2 та похила відстань  $S_{32}$ . Кожна з вимірних відстаней містить сталу  $c$ . Тому виправлені відстані дорівнюють

$$S'_{ij} = S_{ij} + c. \tag{1}$$

За неможливості виміряти кут  $\beta_3$  (наприклад, пункт 3 є стінним знаком) вимірюється горизонтальний кут на пункті 2 -  $\beta_2$  в напрямку на візирні марки пунктів 1 та 3, відстань  $S_{23}$ , кут нахилу  $\nu_{23}$ , а кут  $\beta_3$  обчислюється за відомою формулою

$$\beta_3 = 180 - (\beta_1 + \beta_2). \tag{2}$$



Зрозуміло, що  $S_{32} = S_{23}$ ,  $v_{32} = -v_{23}$ .

Горизонтальна площина (рис. 1) проходить через токи 1' 2" 3" та горизонт інструменту  $PI_1$ . Якщо спроекувати виправлені сторони на вказану горизонтальну площину, то горизонтальні прокладення виправлених сторін дорівнюють

$$D'_{12} = (S_{12} + c) \cos v'_{12} = S_{12} \cos v_{12} + c \cdot \cos v'_{12}, \quad (3)$$

$$D'_{32} = (S_{32} + c) \cos v'_{32} = S_{32} \cos v_{32} + c \cdot \cos v'_{32}. \quad (4)$$

Далі горизонтальні прокладення  $D'_{12}$  та  $D'_{32}$  проектується на сторону 1'-3", яка дорівнює  $D_{13}$

$$D'_{12} \cos \beta_1 + D'_{32} \cos \beta_3 = D'_{12} + D'_{32} = D_{13}. \quad (5)$$

Підстановка формул (3) та (4) у формулу (5) дозволяє визначити сталу

$$c = \frac{D_{13} - S_{12} \cos v_{12} \cos \beta_1 - S_{32} \cos v_{32} \cos \beta_3}{\cos v_{12} \cos \beta_1 + \cos v_{32} \cos \beta_3}. \quad (6)$$

Якщо електронний тахеометр працює в режимі вимірювання горизонтальних прокладень  $D_{ij}$  та перевищень  $h_{ij}$ , то позначивши

$$D_{ij} = S_{ij} \cos v_{ij}, \quad (7)$$

$$h_{ij} = S_{ij} \sin v_{ij}, \quad (8)$$

та враховуючи

$$S_{ij} = \sqrt{D_{ij}^2 + h_{ij}^2}, \quad (9)$$

сталу можна обчислити за такою формулою

$$c = \frac{D_{13} - D_{12} \cos \beta_1 - D_{32} \cos \beta_3}{\frac{D_{12}}{\sqrt{D_{12}^2 + h_{12}^2}} \cos \beta_1 + \frac{D_{32}}{\sqrt{D_{32}^2 + h_{32}^2}} \cos \beta_3}. \quad (10)$$

Для обчислення точності визначення сталої у наведеній лінійно-кутовій мережі, необхідно продиференціювати формулу (6) за окремими незалежними аргументами та перейти до їх середніх квадратичних похибок (СКП). Отже, СКП визначення сталої дорівнює

$$m_c^2 = \frac{1}{a^2} \left[ m_{D_{13}}^2 + \left( \frac{D_{12}^*}{S_{12}} \right)^2 m_{S_{12}}^2 + \left( \frac{D_{32}^*}{S_{32}} \right)^2 m_{S_{32}}^2 + 2\Delta^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + (h_{12}^2 \cos^2 \beta_1 + h_{32}^2 \cos^2 \beta_3) \frac{m_v^2}{\rho^2} \right], \quad (11)$$

де

$$a = \cos v_{12} \cos \beta_1 + \cos v_{32} \cos \beta_3, \quad (12)$$

$$D_{12}^* = S_{12} \cos v_{12} \cos \beta_1, \quad (13)$$

$$D_{32}^* = S_{32} \cos v_{32} \cos \beta_3, \quad (14)$$

$$\Delta = S_{12} \cos v_{12} \cos \beta_1 \approx S_{32} \cos v_{32} \cos \beta_3, \quad (15)$$

$m_{S_{12}}, m_{S_{32}}, m_\beta, m_v$  – СКП вимірювання відстаней  $S_{12}, S_{32}$ , горизонтальних кутів  $\beta_i$  та кутів нахилу  $v_i$  електронним тахеометром у цій лінійно-кутовій мережі, значення  $h_{12}$  та  $h_{32}$  обчислюються за формулою (8),  $m_{D_{13}}$  – СКП визначення базисної лінії  $D_{13}$ .

Для випадку роботи електронного тахеометра в режимі вимірювань горизонтальних прокладень  $D_{ij}$  та перевищень  $h_{ij}$ , формули (11)–(15) набудуть такого вигляду

$$m_c^2 = \frac{1}{b^2} \left[ m_{D_{13}}^2 + \frac{(D_{12}^x)^2}{D_{12}^2 + h_{12}^2} m_{S_{12}}^2 + \frac{(D_{32}^x)^2}{D_{32}^2 + h_{32}^2} m_{S_{32}}^2 + 2\Delta^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2} + (h_{12}^2 \cos^2 \beta_1 + h_{32}^2 \cos^2 \beta_3) \frac{m_v^2}{\rho^2} \right], \quad (16)$$

де

$$b = \frac{D_{12}}{\sqrt{D_{12}^2 + h_{12}^2}} \cos \beta_1 + \frac{D_{32}}{\sqrt{D_{32}^2 + h_{32}^2}} \cos \beta_3, \quad (17)$$

$$D_{12}^x = D_{12} \cos \beta_1, \quad (18)$$

$$D_{32}^x = D_{32} \cos \beta_3, \quad (19)$$

$$\Delta = D_{12} \cos \beta_1 \approx D_{32} \cos \beta_3. \quad (20)$$

Для практичної апробації розробленого способу визначення сталої була використана лінійно-кутова мережа, яка наведена на рис. 2.

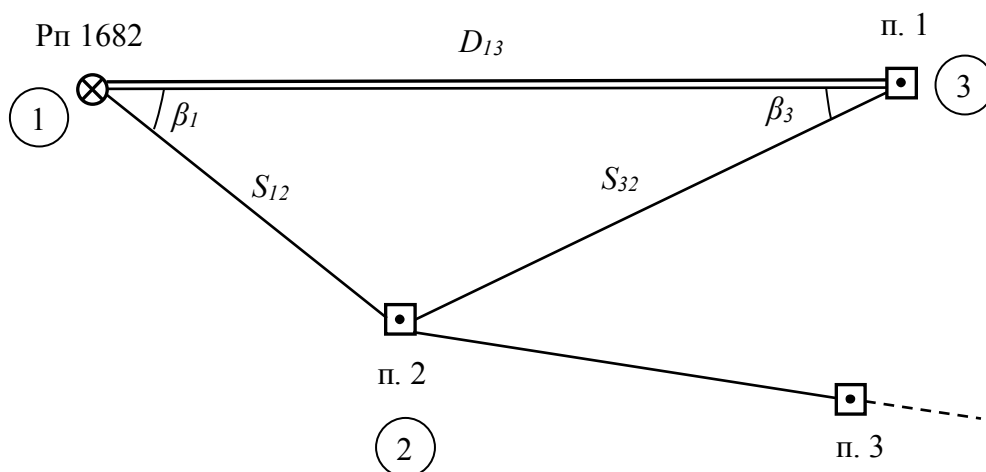


Рис. 2. Схема прив'язки полігонометричного ходу

Вихідним пунктом був репер міської геодезичної мережі міста Чернігова за № 1682 поблизу міської лікарні № 2 та пункт п. 1, на який було передано планові координати від подвійного стінного знаку за № 4787, що закладено в капітальну споруду їдальні, яка розташована за розвилкою доріг у напрямку на Олександрівку та Генерала Белова. У лінійно-кутовій мережі були виміряні з використанням тахеометра Trimble 3305 та візирної марки-відбивача від електронного тахеометра СТ5 «Блеск»: горизонтальні кути  $\beta_1$  та  $\beta_3$ ; похилі відстані  $S_{12}$ ,  $S_{32}$ ; кути нахилу  $v_{12}$ ,  $v_{32}$ . Значення координат вихідних пунктів, виміряних відстаней та кутів наведено в табл. 1.

Таблица 1

Значення вихідних даних лінійно-кутової мережі

$X_{Pn\ 1682}$	7176,768 м
$Y_{Pn\ 1682}$	4594,250 м
$X_{П1}$	7340,728 м
$Y_{П1}$	4664,629 м
$S_{12}$	78,7507 м
$S_{32}$	103,6640 м
$v_{12}$	+0°20'46"
$v_{32}$	-0°52'30"
$\beta_1$	13°43'34"
$\beta_3$	10°23'14"

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Центрування приладів виконувалось оптичними висками. Вимірювання в мережі виконувались за триштативною системою за неперушних штативів, відцентрованих над пунктами мережі.

Виконувалась прив'язка до вихідних пунктів - Рп 1682 та п. 1 полігонометричного ходу: п. 1, п. 2, п. 3, ... , який належав полігонометрії другого розряду. Згідно з інструкцією [11] найменша сторона полігонометричного ходу другого розряду не повинна бути меншою за 80 м. Оскільки виміряна сторона ходу  $S_{12} = 78,7507$  м (табл. 1) менша допустимої, то для підвищення точності прив'язки полігонометричного ходу була й побудована ця лінійно-кутова мережа.

Електронний тахеометр Trimble 3305 має точність вимірювання горизонтальних кутів одним прийомом 5". Тому згідно з інструкцією [11] кути вимірювались двома прийомами. Точність (СКП) вимірювання відстаней за допомогою тахеометра Trimble 3305 DR становить

$$m_s = 2\text{мм} + 2\text{мм} \cdot S_{\text{км}}, \quad (21)$$

де  $S_{\text{км}}$  – виміряна відстань у кілометрах.

Вимірювання кожної відстані виконувалось на станції тричі та визначалось середнє значення. Вимірювання відстані виконувалось у прямому та зворотному напрямках та визначалось середнє значення.

Для обчислення сталої доцільно формулу (6) перетворити таким чином. Позначити:

$$a_{12} = \cos \nu_{12} \cos \beta_1, \quad (22)$$

$$a_{32} = \cos \nu_{32} \cos \beta_3, \quad (23)$$

$$A = \frac{1}{a_{12} + a_{32}}, \quad (24)$$

$$B = \frac{a_{12}}{a_{12} + a_{32}}, \quad (25)$$

$$C = \frac{a_{32}}{a_{12} + a_{32}}. \quad (26)$$

Тоді формула (6) прийме вигляд, який зручний для обчислення

$$c = A \cdot D_{13} - B \cdot S_{12} - C \cdot S_{32}. \quad (27)$$

Довжина базису  $D_{13}$  між вихідними пунктами обчислена за формулою

$$D_{13} = \sqrt{(X_{P_n} - X_{П.1})^2 + (Y_{P_n} - Y_{П.1})^2}. \quad (28)$$

У табл. 2 наведені значення елементів формули (27), значення сталої  $c$  та виправлені значення вимірних ліній  $S'_{12}$  та  $S'_{32}$ , отримані за формулою (1) для  $c = -13,7$  мм.

Таблиця 2

Результати обчислення сталої та її СКП

Позначення	Значення
1	2
$a_{12}$	0,971423361
$a_{32}$	0,983497006
$a_{12} + a_{32}$	1,954920367
$A$	0,511529787
$B$	0,496911985
$C$	0,503088014
$D_{13}$	178,4267 м
$S_{12}$	78,7507 м
$S_{32}$	103,6640 м

1	2
$c$	- 13,71 мм
$S'_{12}$	78,737 мм
$S'_{32}$	103,650 мм
$B'$	0,016413356 мм <sup>2</sup>
$C'$	$6,16 \cdot 10^{-5}$ мм <sup>2</sup>
$m_{S_{12}} / \sqrt{6}$	0,88080
$m_{S_{32}} / \sqrt{6}$	0,90113
$m_{\beta}$	5"
$m_{\nu}$	5"
$m_{D_{13}}$	9,142 мм
$m_{Ц,Р}$	0,5 мм
$m_c$	4,79 мм

На тахеометрі перед початком вимірювань було встановлено значення сталої – 30 мм, яке автоматично вводилось у виміряні лінії  $S_{ij}$ . Тому кінцевим значенням сталої електронного тахеометра Trimble 3305 DR у парі з відбивачем від електронного віддалеміра СТ-5 «Блеск» є величина  $c' = -13,71 \text{ мм} + (-30 \text{ мм}) = -43,7 \text{ мм}$ .

Для зручності обчислення СКП визначення сталої можна позначити

$$B' = 2\Delta^2 = 2(S_{12} \cos \nu_{12} \sin \beta_1)^2, \quad (29)$$

$$C' = h_{12}^2 \cos^2 \beta_1 + h_{32}^2 \cos^2 \beta_3 = (S_{12} \sin \nu_{12} \cos \beta_1)^2 + (S_{32} \sin \nu_{32} \cos \beta_3)^2. \quad (30)$$

Тоді формула (11) набуде вигляду

$$m_c = A \sqrt{m_{D_{13}}^2 + a_{12}^2 m_{S_{12}}^2 + a_{32}^2 m_{S_{32}}^2 + B' m_{\beta}^2 + C' m_{\nu}^2 + 2m_{Ц,Р}^2}, \quad (31)$$

де  $m_{Ц,Р}$  – СКП центрування та редукції електронного тахеометра та візирної марки з відбивачем над кінцями базисної лінії.

Необхідно визначитись із СКП базисної відстані  $m_{D_{13}}$ . Точність прив'язки п. 1 до стінних знаків не визначалась. Однак при закладці стінних знаків СКП передачі координат з робочих центрів на стінні знаки не повинна перевищувати 2 мм [12]. Можна вважати, що СКП передачі координат від стінних знаків на п. 1 не повинна перевищувати тих же 2 мм – за умови збереження тих самих технологічних вимог під час вимірювань та розрахунків.

Вихідний репер Рп 1682 та стінні знаки належать до першого розряду полігонометрії. Згідно з [11] гранична похибка взаємного положення пунктів полігонометрії першого розряду дорівнює 1/10000. Переходячи до СКП з довірчою ймовірністю 0,95, можна визначити граничну СКП взаємного положення репера Рп 1682 та стінного знаку, яка дорівнює  $m_1 = S_{13} / 20000 = 17842 / 20000 = 8,921$  мм. Тоді СКП взаємного положення репера Рп 1682 та п. 1, що утворюють кінці лінії  $D_{13}$ , становитиме  $m_{D_{13}} = \sqrt{(8,921)^2 + (2)^2} = 9,142$  мм.

СКП центрування та редукції електронного тахеометра та відбивача-візирної марки над кінцями базисної лінії, утвореної Рп 1682 та п. 1, можна прийняти рівною  $m_{Ц,Р} = 0,5$  мм [12].

У підсумку можна обчислити значення коефіцієнтів за формулами (29) та (30), визначити СКП сталої за формулою (31). Результати обчислень наведені в табл. 2.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

У результаті обчислень встановлено, що для рівнинної місцевості формула (16) може не містити останнього доданку, а формула (31) – передостаннього доданку, яким визначається вплив точності визначення кутів нахилу вимірних відстаней на СКП визначення сталої.

У загальному випадку СКП вимірювання відстані  $m'_S$ , з урахуванням СКП визначення сталої  $m_c$ , визначається за формулою

$$m'_S = \sqrt{m_c^2 + m_S^2}. \quad (32)$$

Тоді максимальна допустима відстань між пунктами полігонометрії другого розряду 500 м буде виміряна електронним тахеометром Trimble 3305 DR у комплекті з відбивачем від світловіддалеміра СТ5 «Блеск» з урахуванням формул (32) та (21) з СКП  $m'_S = 5,6$  мм. Згідно з нормативними вимогами [11] СКП вимірювання відстаней до 500 м не повинно перевищувати 10 мм, а відстань у 500 м – з СКП 20 мм. Таким чином, похибка визначення сталої хоча й погіршує в підсумку точність вимірювання відстані електронним тахеометром Trimble 3305 DR, та все ж відповідає нормативним вимогам.

Визначити сталу можна було б з використанням базисної відстані  $D_{13}$ , виконавши її відмірювання  $S_{13}$  електронним тахеометром, як це виконується в класичній методиці [5; 7]. Тоді стала визначилась за формулою

$$c = D_{13} - S_{13} \cos \nu_{13}, \quad (33)$$

а СКП визначення сталої у цьому випадку після диференціювання формули (33) та з урахуванням формули (7) дорівнювала б

$$m'_c = \sqrt{m_{D_{13}}^2 + \frac{D_{13}^2}{S_{13}^2} m_{S_{13}}^2 + h_{13}^2 \frac{m_{\nu_{13}}^2}{\rho^2} + 2m_{c,p}^2}. \quad (34)$$

Для рівнинної місцевості, через незначне  $h_{13}$  та значну величину  $\rho = 20626 \text{ } 5''$ , можна знехтувати третім доданком формули (34) та з урахуванням у цьому випадку  $D_{13} \approx S_{13}$  можна записати

$$m'_c = \sqrt{m_{D_{13}}^2 + m_{S_{13}}^2 + 2m_{c,p}^2}. \quad (35)$$

Для значень  $m_{D_{13}} = 9,142$  мм (табл. 2) та  $m_{S_{13}} = 2,356$  мм, обчисленого за формулою (21) та врахуванням шести прийомів можливого її вимірювання  $m_{S_{13}} / \sqrt{6} = 0,9618$  мм, за формулою (35)  $m'_c = 9,2$  мм. Порівняння цього значення зі значенням СКП визначення сталої за вимірами в лінійно-кутовій мережі  $m_c = 4,8$  мм (табл. 2) дає змогу зробити висновок, що точність сталої електронного тахеометра в останньому випадку в 1,9 раза точніше за її визначення на базисній лінії лінійно-кутової мережі.

**Висновки відповідно до статті.** Розроблено методику визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра за даними вимірювань у лінійно-кутовій мережі у вигляді трикутника з відомою базисною стороною, вимірними двома сторонами та вимірними щонайменше двома кутами. Виконано апробацію розробленої методики з використанням вимірів у конкретній лінійно-кутовій мережі з використанням електронного тахеометра Trimble 3305 та відбивача від електронного віддалеміра СТ5 «Блеск». Значення сталої дорівнює 4,4 мм, яке визначено з СКП 4,7 мм. У результаті розрахунків встановлено, що точність визначення сталої за даними вимірів у наведеній лінійно-кутовій мережі в 1,9 раза вища за точність визначення сталої на базисній відстані цієї ж мережі.

### Список використаних джерел

1. Терещук О. Ефективність застосування супутникових технологій під час виконання земельно-кадастрових робіт у населених пунктах / О. Терещук, І. Нисторьяк // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – Львів, 2016. – Вип. 84. – С. 90–98.
2. Практичні дослідження точності визначення координат за супутниковими технологіями у реальному часі / Р. В. Шульц, О. І. Терещук, А. О. Анненков, І. О. Нисторьяк // Інженерна геодезія. – 2014. – № 61. – С. 58–77.
3. Бурачек В. Г. Сумісне використання GPS-технологій та електронної тахеометрії для визначення координат точок опорної мережі / В. Г. Бурачек, І. О. Нисторьяк // Наукові аспекти геодезії, землеустрою та інформаційних технологій: II наук.-практ. конф. – К. : НАУ, 2013. – С. 70–75.
4. Терещук О. І. Відновлення міських полігонометричних мереж сучасними супутниковими технологіями / О. І. Терещук, І. О. Нисторьяк, Р. В. Шульц // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2015. – Вип. 82. – С. 59–72.
5. Сборник инструкций по производству поверок геодеических приборов / Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. – М. : Недра, 1988. – 77 с.
6. Ворошилов А. П. Определение постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А. П. Ворошилов // Геопрофи. – 2005. – № 4. – С. 46–47.
7. Ковалев С. В. Основы диагностики и ремонта электронных тахеометров / С. В. Ковальов // Геопрофи. – 2004. – № 5. – С. 58–60.
8. Никонов А. В. К вопросу об определении постоянной поправки дальномера электронного тахеометра / А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина // Вестник СГУГиТ. – 2015. – № 1 (29). – С. 54–61.
9. Крячок С. Д. Удосконалення безбазисного створного способу визначення сталої електронного віддалеміра / С. Д. Крячок // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки». – 2016. – № 1 (3). – С. 130–139.
10. Патент. 124821 Україна. МПК (2018.01), G01C 3/00, G01B 7/00, G01B 11/00. Спосіб визначення сталої віддалеміра електронного тахеометра / Крячок С. Д., Мамонтова Л. С., Беленок В. Ю., Горлова Г. М. – № у 2017 10698 ; заявл. 03.11.2017 ; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.
11. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000 - 1:500. ГКНТА-2.04-02-98. – К. : ГУГК та К, 1998. – 155 с.
12. Тревого И. С. Городская полигонометрия / И. С. Тревого, П. М. Шевчук. – М. : Недра. 1986. – 199 с.

### References

1. Tereshchuk, O. & Nystoriak, I. (2016). Efektyvnist zastosuvannia suputnykovykh tekhnolohii pid chas vykonannia zemelno-kadastryvnykh robot u naselennykh punktakh [Efficiency of application of satellite technology when performing land cadastral works in settlements]. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 84, 90–98 [in Ukrainian]
2. Shults, R. V., Tereshchuk, O. I., Annenkov, I. O., & Nystoriak, I. O. (2014). Praktychni doslidzhennia tochnosti vyznachennia koordynat za suputnykovymy tekhnolohiiamy v realnomu chasi [Practical studies of the accuracy of coordinates by satellite technology in real time]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 58–77 [in Ukrainian].
3. Burachek, V. H. & Nystoriak, I. O. (2013). Sumisne vykorystannia GPS-tekhnolohii ta elektronnoi takheometrii dlia vyznachennia koordynat tochok opornoj merezhi [Compatible use of GPS technology and electronic tacheometry to determine the coordinates of the points of the reference network]. *Proceedings from II naukovo-praktychna konferentsiia «Naukovi aspekty heodeziyi, zemleustroyu ta informatsiynykh tekhnolohiy» - Conference proceedings of the 2nd scientific and practical conference “Scientific aspects of geodesy, land management and information technologies”* (pp. 70–75). Kyiv: NAU [in Ukrainian].
4. Tereshchuk, O. I., Nystoriak, I. O. & Shults, R. V. (2015). Vidnovlennya miskykh polihonometrychnykh merezh suchasnymy suputnykovymy tekhnolohiiamy [Reconstruction of urban polygonometric networks with modern satellite technologies]. *Heodeziia, kartohrafiia ta aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 82, 59–72 [in Ukrainian].
5. *Sbornik instruksiy po proizvodstvu poverok geodetsiy priborov. Glavnoye upravleniye geodezii i kartografii pri Sovete Ministrov SSSR [Collection of instructions for the production of checks of geo-*

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

*detic instruments. Main Department of Geodesy and Cartography under the Council of Ministers of the USSR*] (1988). Moscow: Nedra [in Russian].

6. Voroshylov, A. P. (2005). Opredelenie postoiannoї popravki dalnomera elektronnoho takheometra [Determination of the constant correction of the distance meter of the electronic station]. *Heoprofi – GeoProfi*, 4, 46–47 [in Russian].

7. Kovalev, S. V. (2004). Osnovy diagnostiki i remonta elektronnykh takheometrov [Fundamentals of diagnostics and repair of electronic tacheometers]. *Heoprofi – GeoProfi*, 5, 58–60 [in Russian].

8. Nikonov, A. V., Chesheva, I. N., Lifashina, G. V. (2015) K voprosu ob opredelenii postoyannoї popravki dalnomera elektronnoho takheometra [On the question of determining the constant correction of the range meter of an electronic total station]. *Vestnik SGUGiT – Newsletter of SGUGiT*, 1, 54–61 [in Ukrainian].

9. Kryachok, S. D. (2016). Udoskonalennia bezbazisnoho stvornoho sposobu obrazovaniia staloi elektronnoho vyddalemira [Improvement of the baseless method of creating a permanent electronic distance meter]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnogo tekhnolohichnoho universytetu. Seriiia “Tekhnichni nauky” – Bulletin of the Chernihiv State Technological University. Series “Technical Sciences”*, 1 (3), 130–139 [in Ukrainian].

10. Kryachok, S. D., Mamontova, L. S., Belenok V. Yu., Horlova H. M. (2018). Sposib vyznachennia staloi viddalemira elektronnoho takheometra [A method for determining the remote distance meter of an electronic station]. Patent Ukrainian No. №124821 [in Ukrainian].

11. Instruktssiia z topohrafichnoho znimannia v mashtabi 1:5000.-1:500. HKNTA-2.04-02-98 [Instructions for topographical scans on a scale of 1:5000-1:500. GKNTA-2.04-02-98] (1992). Kyiv: HUHk ta K [in Ukrainian].

12. Trevogo, I. S. & Shevchuk, P.M. (1986). *Gorodskaia poligonometriia [City polygonometry]*. Moskva: Nedra [in Russia].

UDC 528.3

Serhiy Kryachok

## DETERMINATION OF A CONSTANT CORRECTION OF RANGEFINDER OF ELECTRONIC TOTAL STATION IN LINEAR-ANGLED NETWORK

**Urgency of the research.** In Ukraine, new methods of creating geodetic networks based on satellite technology is currently widely used. However, with the development of accurate surveying instrument has not lost relevance polygon method using electronic total stations.

**Target setting.** To determine the distances measured by electronic tacheometer, it is necessary to periodically determine the constant correction of the distance meter of the electronic tacheometer.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The latest open access publications were devoted to highlighting the ways to determine the constant correction of the distance meter of the electronic tacheometer.

**Uninvestigated parts of general matters defining,** The further development of the methods for determining the constant correction is not required as a separate measurement procedure, but as a result of measurements in geodetic networks.

**The research objective.** It is necessary to develop a methodology for determining the constant correction of the distance meter of the electronic tacheometer according to the measurements in a linear-angled network in the form of a triangle with a known basis.

**The statement of basic materials.** The peculiarities of the method of determination of the constant correction of the distance meter of the electronic tacheometer according to the measurements data in a linear-angled network in the form of a triangle with a known basis measured by two sides and measured at least two horizontal angles are considered. Approbation of the developed method on a specific linear-angled network was carried out using the Trimble 3305 electronic tacheometer and the reflector from the electronic distance meter ST5 “Gloss”.

**Conclusions.** The value of the constant correction equals - 44 mm, which is defined with an average square error of 4.7 mm. As a result of the calculations, it was found that the accuracy of the determination of the constant correction according to the measurements in the given linear-angled network is 1.9 times higher than the accuracy of its determination using the base.

**Keywords:** geodetic network; constant correction of electronic distance meter; accuracy of distance measurement; electronic total station.

Fig.: 2. Table: 2. References: 12.

УДК 528.3

Сергей Крячок

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСТОЯННОЙ ПОПРАВКИ ДАЛЬНОМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ТАХЕОМЕТРА В ЛИНЕЙНО-УГЛОВОЙ СЕТИ**

**Актуальность темы исследования.** В Украине широко применяются новейшие методы создания геодезических сетей с использованием спутниковых технологий. Актуальным остается построение полигонометрического сетей с использованием электронных тахеометров.

**Постановка проблемы.** Для определения расстояний, измеренных электронными тахеометрами, необходимо периодически определять постоянную поправку дальномера электронного тахеометра.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, посвященные освещению способов определения постоянной поправки дальнометров электронных тахеометров.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Требуется дальнейшего развития разработка методик определения постоянной поправки не как отдельной измерительной процедуры, а по результатам измерений в геодезических сетях.

**Постановка задачи.** Необходимо разработать методику определения постоянной поправки дальномера электронного тахеометра по данным измерений в линейно-угловой сети в виде треугольника с известной базисной стороной.

**Изложение основного материала.** Рассмотрены особенности методики определения постоянной поправки дальномера электронного тахеометра по данным измерений в линейно-угловой сети в виде треугольника с известной базисной стороной, измеренным двумя сторонами и измеренным по меньшей мере двумя горизонтальными углами. Выполнена апробация разработанной методики на конкретном линейно-угловой сети с использованием электронного тахеометра Trimble 3305 и отражателя от электронного дальномера Ст5 «Блеск».

**Выводы в соответствии со статьей.** Значение постоянной поправки равно -44 мм и определено со средней квадратичной погрешностью 4,7 мм. В результате расчетов установлено, что точность определения постоянной поправки по данным измерений в приведенной линейно-угловой сети в 1,9 раза выше точность ее определения с использованием базисной стороны.

**Ключевые слова:** геодезическая сеть; постоянная поправка электронного дальномера; точность измерения расстояний; электронный тахеометр.

Рис.: 2. Табл.: 2. Библ.: 12.

**Крячок Сергій Дмитрович** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри геодезії, картографії 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).

**Kryachok Serhiy** – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of geodesy, cartography and land management, Chernihiv national University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** geodesist2015@gmail.com

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5633-1501>

**ResearcherID:** N-3070-2016



Віктор Мовенко

## МОНІТОРИНГ ГІДРОГРАФІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ТЕРИТОРІЇ МАСИВУ «КОРДІВКА» м. ЧЕРНІГОВА

**Актуальність теми дослідження.** Важливою складовою сталого розвитку сучасного суспільства виступає необхідність забезпечення належної екології та збереження довкілля. Взаємозалежність економічного розвитку із природним середовищем найбільш тісно проявляється саме в містах, що зумовлює необхідність постійно відновлювати та підтримувати паркове господарство в належному стані. Парки не тільки очищують повітря та оздоровлюють екологію, вони сприяють моральному й культурному вихованню населення, створюють умови для сімейного відпочинку, єднання людей з природою. Забезпечення повноцінного розвитку міського садово-паркового господарства є складною та комплексною проблемою, що включає і додаткову потребу у фінансових ресурсах, і необхідність оновлення техніки, і підвищення якості менеджменту зеленим господарством міста.

**Постановка проблеми.** Останнім часом серед науковців та практиків зростає увага до проблем садово-паркового господарства як невід'ємна складова забезпечення сталого розвитку країни. Водночас потребують більшої уваги питання вивчення та поширення прогресивного практичного досвіду з ефективного управління садово-парковим господарством великих міст. Поліпшення сучасного стану масиву «Кордівка» м. Чернігова потребує обов'язкового проведення моніторингу гідрографічних об'єктів міського парку, оформлення графічних і текстових документів та надання рекомендацій щодо необхідних для цього робіт.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, присвячені проблемам розвитку міського садово-паркового господарства та проблемам збереження водних ресурсів.

**Постановка завдання.** Розглянуті дослідження гідрографічних об'єктів території масиву «Кордівка», створення звітної документації та наведені рекомендації щодо поліпшення екологічного стану міського парку.

**Виклад основного матеріалу.** У статті розглянуто питання моніторингу гідрографічних об'єктів масиву «Кордівка» м. Чернігова, роботи з топографічного знімання водотоків, питання розвитку міського садово-паркового господарства та збереження водних ресурсів урочища.

**Висновки відповідно до статті.** Наведено рекомендації щодо поліпшення екологічного стану гідрографічних об'єктів масиву «Кордівка» м. Чернігова.

**Ключові слова:** моніторинг гідрографічних об'єктів; масив «Кордівка» м. Чернігова; водні ресурси.

Рис.: 4. Бібл.: 10.

**Актуальність теми дослідження.** Важливою складовою сталого розвитку сучасного суспільства виступає необхідність забезпечення належної екології та збереження довкілля. Взаємозалежність економічного розвитку з природним середовищем найбільш тісно проявляється саме в містах, що зумовлює необхідність постійно відновлювати та підтримувати паркове господарство в належному стані. Парки не тільки очищують повітря та оздоровлюють екологію, вони сприяють моральному й культурному вихованню населення, створюють умови для сімейного відпочинку, єднання людей з природою. Забезпечення повноцінного розвитку міського садово-паркового господарства є складною та комплексною проблемою, що включає і додаткову потребу у фінансових ресурсах, і необхідність оновлення техніки, і підвищення якості менеджменту зеленим господарством міста. Останнім часом серед науковців та практиків зростає увага до проблем садово-паркового господарства як невід'ємної складової забезпечення сталого розвитку країни. Водночас потребують більшої уваги питання вивчення та поширення прогресивного практичного досвіду з ефективного управління садово-парковим господарством великих міст [1].

**Постановка проблеми.** Моніторинг гідрографічних об'єктів території масиву «Кордівка» м. Чернігова проводився в липні–грудні 2017 року згідно з угодою № 9110-7 від 04.07.2017 р. про науково-дослідну роботу «Дослідження гідрологічних режимів території “Кордівка” та визначення негативних факторів з рекомендаціями щодо їх усунення» між Управлінням житлово-комунального господарства Чернігівської міської ради та Чернігівським національним технологічним університетом [2].

Для виконання цієї задачі були проведені топографічні вишукування масиву «Кордівка». Сутність топографічних вишукувань полягала в забезпеченні складової гідрологічних досліджень – гідрометричних робіт на водотоках урочища «Кордівка» єдиною системою висот. Крім того, для побудови поздовжніх профілів водотоків було забезпечено ведення пікетажу на кожному водотоку. Для побудови поперечних профілів на

водотоках були виконані промірні роботи на кожному з них. Під час виконання топографічних робіт на об'єкті виникла необхідність адаптування методики їх проведення до специфічних ландшафтних умов території урочища «Кордівка» [3].

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Були розглянуті останні публікації у відкритому доступі, присвячені проблемам розвитку міського садово-паркового господарства та проблемам збереження водних ресурсів, зокрема статті та навчальні посібники: [1; 4; 5; 6]. Матеріали розглянутих публікацій та посібників були використані під час проведення досліджень та підготовці звіту про науково-дослідну роботу «Дослідження гідрологічних режимів території “Кордівка” та визначення негативних факторів з рекомендаціями щодо їх усунення».

**Постановка завдання.** Розглянуті дослідження гідрографічних об'єктів території масиву «Кордівка», створення звітної документації та наведені рекомендації щодо поліпшення екологічного стану міського парку.

**Виклад основного матеріалу.** Урочище «Кордівка» розташована у східній частині міста Чернігова в заплаві річки Десна. Від житлового масиву урочище відмежоване міським парком культури із західної сторони, а із південної – міським пляжем і річкою Десна. Площа лісопарку «Кордівка» становить 286,0 га, яка за функціональним призначенням поділена на зону масового відпочинку (17,0 га міського саду) і зону інтенсивної рекреації (269,0 га). Типи ландшафтів представлені тут закритими (чисті й мішані, однопоросні деревостани з повнотою 0,6-1,0 і рівномірним розміщенням дерев по площі) – 23,6 %, напівзакритими – 54,3 % і відкритими просторами – 20,4 %. Дороги, стежки, лінії електропередач становлять 1,7 % площі лісопарку.

Зазначимо, що міський пляж є основним місцем відпочинку мешканців м. Чернігова в літню пору року. Урочищем протікає притока р. Стрижень, яку надалі будемо називати водотоком. Довжина основного водотоку «В-1» становить 1820 м та протікає центром урочища (рис. 1). Ширина водотоку змінюється в межах 1,5–43,0 м, а глибина – від 0,2 до 3,5 м (поздовжні та поперечні профілі – рис. 2 та рис. 3). Найбільша ширина і глибина русла водотоку, в основному, розташовані в місцях перед спорудами (рис. 2).

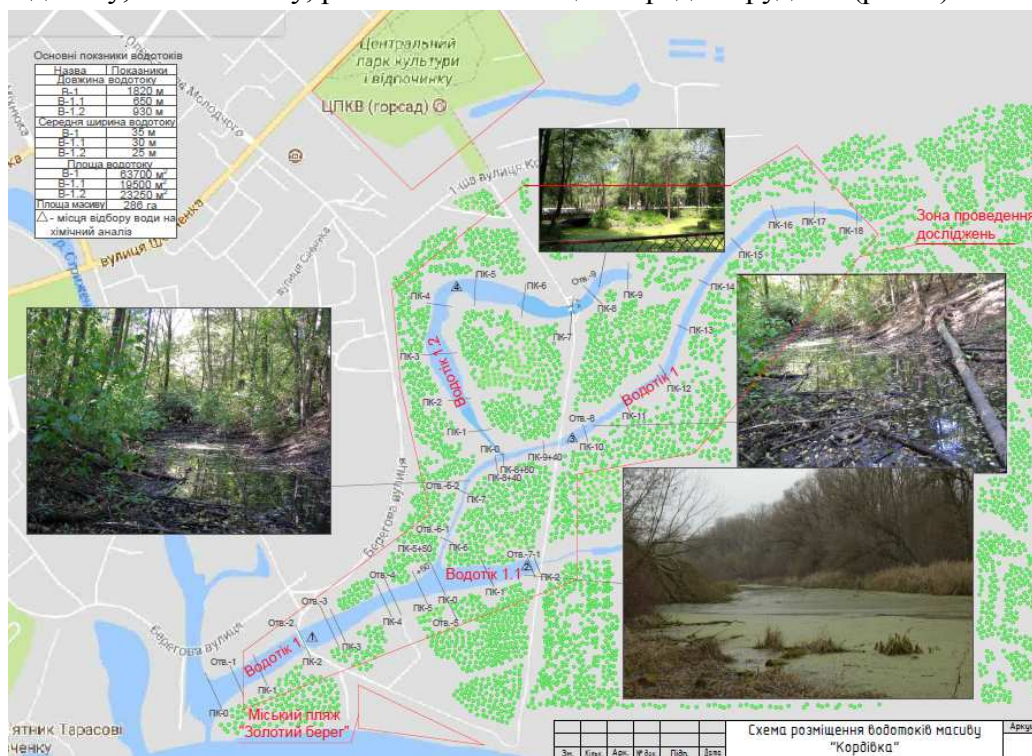


Рис. 1. Схема масиву «Кордівка» м. Чернігова

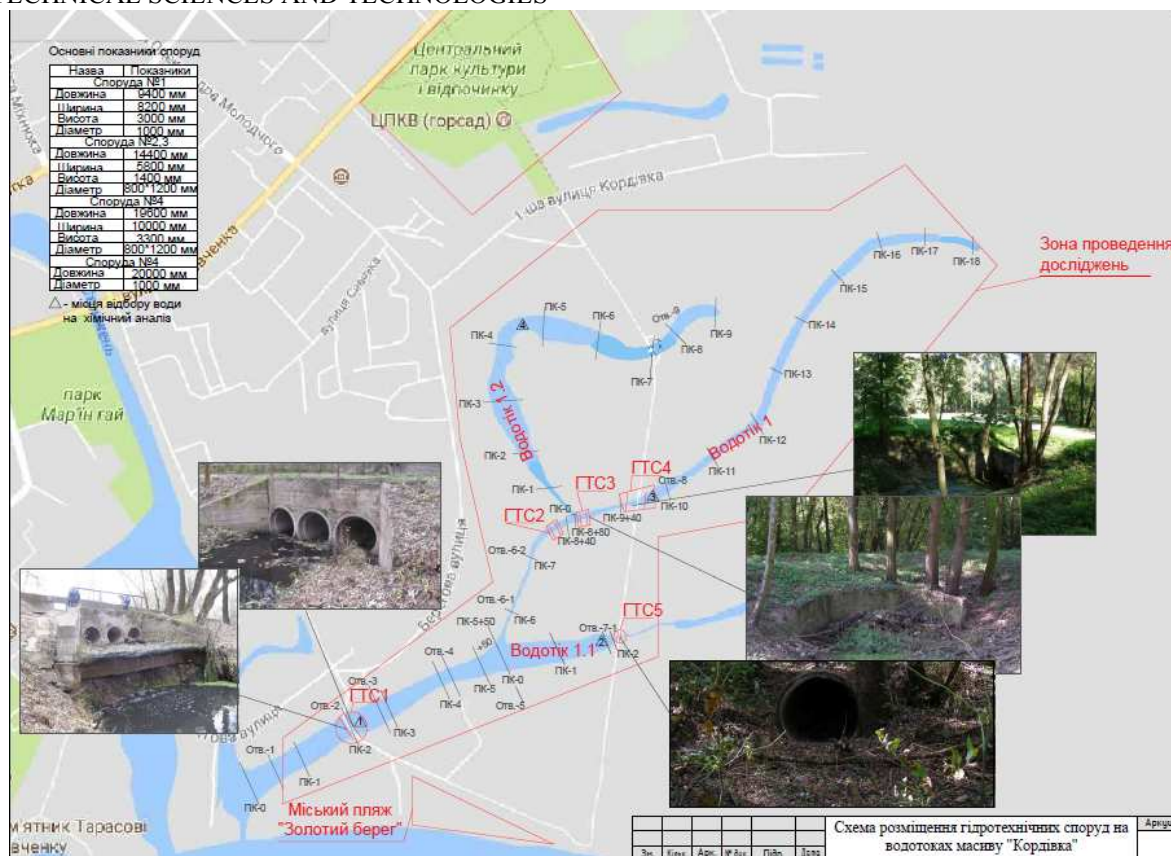


Рис. 2. Схема розташування гідротехнічних споруд ГТС-1, ГТС-2, ГТС-3, ГТС-4, ГТС-5 у масиві «Кордівка» м. Чернігова

Крім основного водотоку, є бічна притока «В-1-1» з лівого боку основного водотоку довжиною 200 м і шириною в межах 10-40 м (рис. 1). Ця притока з'єднана з основним водотоком. З правого боку основного водотоку розташована замкнута водойма «В-1-2» з такими параметрами: довжина – 950 м, ширина – до 60 м. Водойма з'єднується з водотоком і р. Стижень тільки під час повені. Глибина води по довжині водотоків різноманітна, місцями вони пересихають і засмічені деревами та гілками (рис. 1). На період вишукувань течія води відмічена тільки в кінці водотоку В-1 (ПК – 0 – ПК – 2).

На водотоках розміщені водопропускні споруди – трубчаті переїзди (рис. 2). Основна споруда ГТС-1 розміщена на ПК – 2 водотоку В-1. Вона збудована у вигляді трьохочкового трубчастого переїзду, по якому проходить дорога з твердим покриттям і з'єднує місто з міським пляжем (рис. 2).

Інші гідротехнічні споруди – ГТС-2, ГТС-3 та ГТС-4 розміщені на ПК-8+40, ПК-8+80, ПК-9+40 водотоку В-1. Це трубчаті переїзди, на кожному з яких встановлено три водопропускних залізобетонних труби з розмірами отворів 800×1200 мм. На водотоку «В-1-1» на ПК-2 встановлена одна залізобетонна труба діаметром 1000 мм – ГТС-5 (рис. 2).

На початку замкнутої водойми В-1-2 розташований невеликий басейн площею 900 м<sup>2</sup>, периметром якого розташовані чотири пішохідних містки (рис. 1).

До басейну впадають три невеликих струмочки, якими в період паводку стікає вода. На період вишукування струмочки знаходилися в пересохлому і засміченому стані. В центрі басейну розташований колодязь із залізобетонних кілець.

До водотоків, майже по всій довжині, примикає лісовий масив, який складається з порід переважно верб та осокорів. Діаметри дерев змінюються в межах 10–70 см. Налічується багато повалених дерев, деякі дерева перебувають у незадовільному стані, між деревами хащі чагарнику, що робить масив непрохідним. Самі вотоки, місцями заросли

очеретом, частково замулені та засмічені. На ділянках водотоків, де є водне замкнуте дзеркало, яке повністю заросло водоростями, відбувається цвітіння води в теплі періоди року. Аналіз гідрологічного стану існуючих водотоків і прилеглої до них території вказують на їхній незадовільний екологічний і гідрологічний стан.

Одним з основних завдань науково-дослідної роботи було дослідження гідрологічного режиму Урочища «Кордівка». Для виконання цього завдання були проведені топографічні вишукування визначеної території.

Сутність топографічних вишукувань полягала в забезпеченні складової гідрологічних досліджень – гідрометричних робіт на водотоках Урочища «Кордівка» єдиною системою висот. Крім того, для побудови поздовжніх профілів водотоків було забезпечено ведення пікетажу на кожному водотоку (рис. 1). Для побудови поперечних профілів на водотоках були виконані промірні роботи на кожному з них.

У процесі виконання топографічних робіт із вишукування виникла необхідність адаптування методики їх проведення до специфічних ландшафтних умов території урочища «Кордівка».

Для забезпечення топографічних досліджень водотоків урочища «Кордівка» було застосовано методику тригонометричного нівелювання. Для цього було використано оптичний теодоліт 4Т30П № 27886, яким були виконані топографічні роботи [7].

Для забезпечення побудови поперечних профілів водотоку виконувались послідовно топографічні роботи на точках, закріплених під час тригонометричного нівелювання та вибраних для побудови поперечників. Встановлювався оптичний теодоліт 4Т30П, який приводився в робочий стан та орієнтувався відносно кінця поперечника, закріпленого кілочком на протилежному березі водотоку. У створі поперечника на березі водотоку встановлювалась рейку в точки, які позначали русло та уріз води; визначалась відстані до цих точок за допомогою віддалеміра теодоліту та відмітки – методом тригонометричного нівелювання; похилі відстані, виміряні віддалеміром, приводились до горизонту з урахуванням кута нахилу [8; 9].

Наступним етапом було координування промірних вертикалей та проміри глибин водотоку. Для цього використовувався плавзасіб у вигляді надувного гумового човна. На човен встановлюють рейку та лотлінь.

Теодоліт орієнтувався на кілочок протилежного берега, а човен вводився у створ, так визначалась відстань за рейкою та виконувались проміри глибин рейкою або лотлінем, якщо глибини перевищували 3 м [10].

На протилежному березі водотоку у створі поперечника встановлювалась рейка – у точку уріза води та на березі – для координування русла водотоку. Визначались похилі відстані, які приводились до горизонту, та відмітки – методом тригонометричного нівелювання.

У результаті камерального опрацювання результатів польових вимірювань були підготовлені вихідні дані для побудови поздовжніх та поперечних профілів водотоків у вигляді висот пікетів, урізів води та дна, горизонтальних відстаней між промірними вертикалями та характерними точками. Використовуючи отримані дані топографічних вишукувань гідрографічних об'єктів території масиву «Кордівка» м. Чернігова були побудовані три поздовжні профілі та чотирнадцять поперечних перерізів водотоків В-1, В-1-1 та В-1-2, які були використані при наданні рекомендацій щодо поліпшення екологічного стану урочища (рис. 3 та рис. 4).

Крім того, були обстежені та досліджені існуючі гідротехнічні споруди ГТС-1, ГТС-2, ГТС-3, ГТС-4, ГТС-5, які розташовані на водотоках масиву «Кордівка» м. Чернігова та потребують подальшої модернізації.

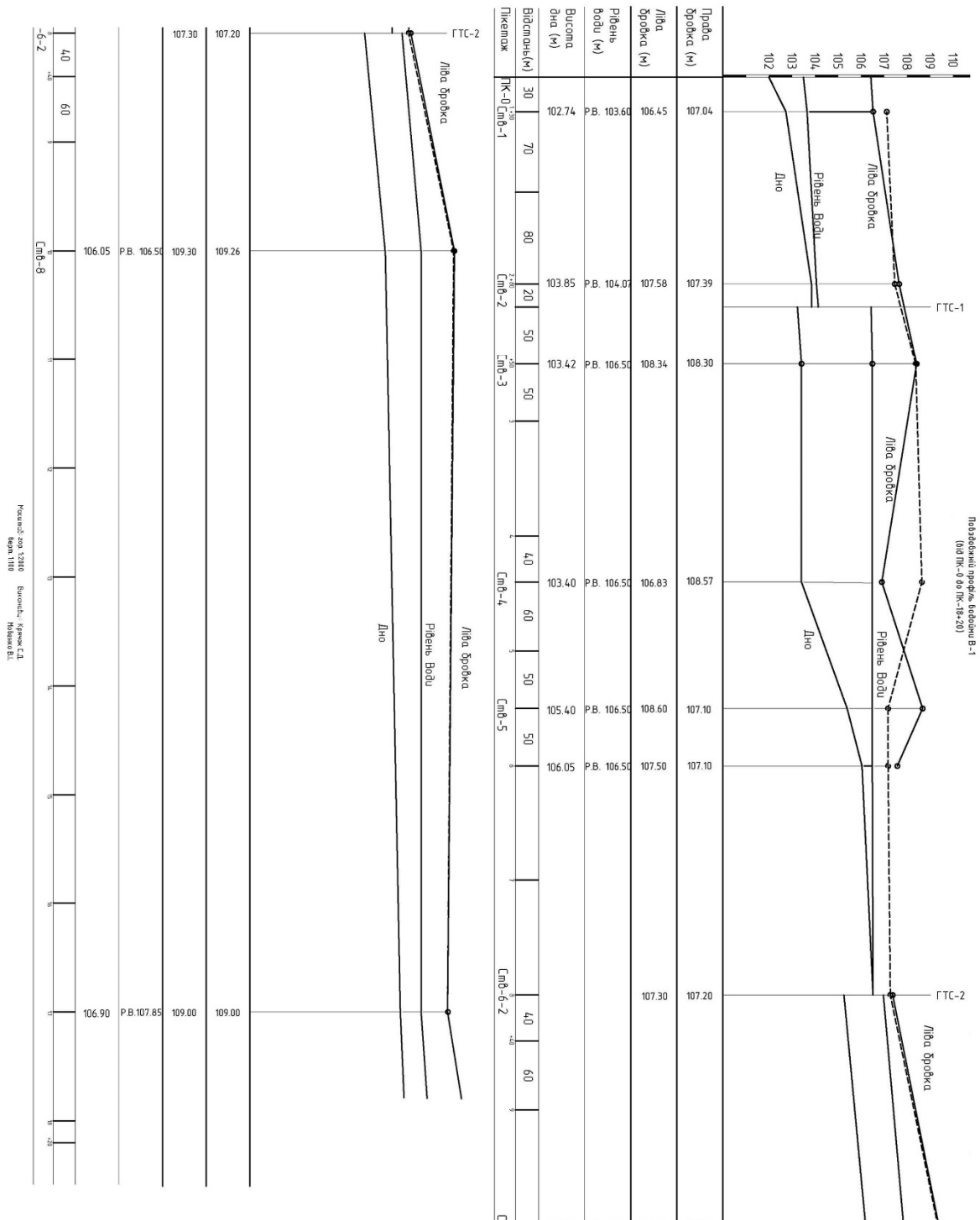


Рис. 3. Повздовжній профіль водотоку В-1 від ПК-0 до ПК-18+20



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Розрахунок водного балансу водотоку в роки різної забезпеченості підтвердив, що дефіцит водного балансу в рік 50 % забезпеченості становить 240 мм, у рік 75 % – 335 мм, і в рік 85 % – 394 мм. За даними топографічних вишукувань, водне дзеркало приблизно становить приблизно 22614 м<sup>2</sup>, тому для року 50 % забезпеченості дефіцит водного балансу становить – 542 м<sup>3</sup>, для року 75 % забезпеченості – 757 м<sup>3</sup> та для року 85 % забезпеченості – 890 м<sup>3</sup>. Таким чином, у засушливі роки водоток має бути пересохлим, що підтверджують проведені дослідження.

Відмітки порогів споруд значно вищі відміток дна водотоку перед ними. Як результат – зберігаються певні об'єми стоячої води, величина яких деякою мірою залежить від рівнів води в р. Десна, що підтвердив аналіз діаграми кривої рівнів води в р. Десна.

Аналіз рівнів води в річці Десна різної забезпеченості показав, що рівень води в річці 85 % забезпеченості – 107,44 м перевищує рівень води в кінці водотоку (106,5 м) на 0,96 м, що вказує на інфільтрацію води із річки в водотік. Згідно з топографічними вишукуваннями такий об'єм проточності води та наявність малих глибин води, підвищення температури води в теплі періоди року призводять до погіршення якості води у водоймі.

Проведення гідрохімічного аналізу води водотоку виявило забруднення поверхневих вод, показники яких перевищують нормативні. Проби на аналіз води відбиралися в різних частинах водотоку. Найгірші показники води відмічені перед спорудою ГТС-1 водотоку В-1. (Результати показників складу та властивостей стічних вод водотоків «Кордівки» від 14.11.2017 р.) [2].

Показники біологічного та хімічного споживання кисню (БСК і ХСК) перевищують нормативні для відкритих водоймищ в 2,0–2,3 рази. Бактеріологічний аналіз (індекс бактерій групи кишкової палички) показав наявність КУО на 100 см<sup>3</sup> 142,5 одиниці проти нормативних 100.

Проведені дослідження вказують на незадовільний стан як водотоку, так і прилеглої до нього території, що має тенденцію до погіршення та потребує постійного моніторингу та модернізації водотоків і гідротехнічних споруд урочища.

**Висновки відповідно до статті.** Дослідження гідрологічного режиму масиву «Кордівка» показало, що поверхневі води перебувають як за гідрохімічними, так і бактеріологічними показниками в незадовільному стані.

Для покращення екологічного стану водотоків і масиву загалом, пропонуються такі заходи та рекомендації:

1. Провести санітарну чистку лісового масиву, який примикає до водотоків на площі 15 га.
2. Згідно з Водним кодексом України створити прибережні смуги шириною до 10 м, що буде сприяти покращенню якості води у водоймах і дасть можливість проводити експлуатаційні заходи [3].
3. Виконати на окремих ділянках водотоків розчистку русла, що зменшить мілководдя, створить суцільне водне дзеркало водотоку та надасть можливість проводити водообмін:
  - Водотоку В-1 від ПК-4 до ПК-9 – 500 м;
  - Водотоку В-1-1 від ПК-0 до ПК-2 – 200 м;
  - Водотоку В-1-2 від ПК-0 до ПК-7 – 700 м.
4. Виконати реконструкцію наявних гідротехнічних споруд з метою регулювання рівнів води та додатково для створення невеликих підпорів води влаштувати напівзагати з кам'яного накиду.
5. Для поповнення об'ємів води у водоймах та водообміну в засушливі періоди року, збудувати водозабір підземних вод з витратою 4–6 м<sup>3</sup>/год.
6. Виконати благоустрій території на площі до 70 га.
7. Щорічно в період повені р. Десни проводити водообмін води у водоймах шляхом регулювання роботи гідротехнічних споруд.

8. Створити службу експлуатації з метою збереження гідротехнічних споруд та експлуатаційного обладнання для безаварійної роботи ГТС та створення необхідного запасу води.

9. Розробити проектно-кошторисну документацію для детального виконання заходів з екологічного покращення масиву «Кордівка» [2].

#### Список використаних джерел

1. *Брайко В. Б.* Проблеми розвитку міського садово-паркового господарства / В. Б. Брайко // Чернігівський науковий часопис. Серія 1. Економіка і управління. – 2011. – № 1 (1). – С. 135–140.
2. *Звіт про науково-дослідну роботу за договором від 04.07.2017 р. № 9110-7 «Дослідження гідрологічних режимів території «Кордівка».* – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – 132 с.
3. *Водний кодекс України від 06.06.98 р. № 214/95 // Відомості Верховної Ради України.* – 1995. – № 24. – Ст. 189.
4. *Мольчак Я. О.* Річки та їх басейни в умовах техногенезу / Я. О. Мольчак, З. В. Герасимчук, І. Я. Мисковець. – Луцьк : РВВ ЛДТУ, 2004. – 336 с.
5. *Беличенко Ю. П.* Захист водних ресурсів / Ю. П. Беличенко, В. М. Дразнер, В. М. Чередниченко. – К. : Будівельник, 1990. – 96 с.
6. *Левківський С. С.* Рациональне використання та охорона водних ресурсів / С. С. Левківський. – К. : Либідь, 2006. – 278 с.
7. *Геодезія.* Частина перша. Топографія : навч. посіб. / А. Л. Островський, О. І. Мороз, З. Р. Тартачинська, І. Ф. Герасимчук. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2011. – 440 с.
8. *Волосецький Б. І.* Інженерна геодезія. Геодезичні роботи для проектування і будівництва водогосподарських та гідротехнічних споруд : навч. посіб. / Б. І. Волосецький. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2003. – 144 с.
9. Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000-1:500 (ГКНТА-2.04-02-98). – К. : ГУГК та К, 1992. – 155 с.
10. Розроблення технології оцінки стану берегової лінії русел середніх і великих рік України / В. Глотов, В. Чижевський, О. Терещук, В. Мовенко // Збірник наукових праць Західного геодезичного товариства УТГК «Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва». – Львів : Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – Вип. 1. – С. 180–184.

#### References

1. Braiko, V. B. (2011). Problemy rozvytku miskoho sadovo-parkovoho hospodarstva [Problems of the development of the parks and gardens economy of the town]. *Chernihivskiyi naukovyi chasopys. Seriya 1, Ekonomika i upravlinnia – Chernihiv Scientific Journal. Series 1. Economics and Management, 1* (1), 135–140 [in Ukrainian].
2. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu za dohovorom vid 04.07.2017 r. № 9110-7 «Doslidzhennia hidrolohichnykh rezhymiv terytoryi «Kordivka» [The Report of the scientific-researching work according the Agreement from 4.07.2017 №9110-7 «The Researches of Hydrological Regimes of Kordivka area»]. Chernihiv: ChNTU [in Ukrainian]
3. Vodnyi kodeks Ukrainy [Water Code of Ukraine]. № 214/95 (1995, June 06) [in Ukrainian].
4. Molchak, Ya. O., Herasymchuk, Z. V. & Myskovets, I. Ia. (2004). *Richky ta yikh baseiny v umovakh tekhnogenezu* [Rivers and their basing in condition of technogenesis]. Lutsk: RVV LDTU [in Ukrainian].
5. Belychenko, Yu. B., Drazhner, V. M., & Cherednychenko V. M. (1990). *Zakhyst vodnykh resursiv* [Protection of water Resource]. Kyiv: Budivelnik [in Ukrainian].
6. Levkivskiyi, S. S. (2006). *Ratsionalne vykorystannia ta okhrona vodnykh resursiv* [Rational use and security of water resources]. Kyiv: Lybid [in Ukrainian].
7. Ostrovskiyi, A. L., Moroz, O. I., Tartachynska, Z. R. & Herasymchuk, I. F. (2011). *Heodeziia. Chastyna persha. Topohrafiia* [Geodesy. Part one. Topograph]. Lviv: Vydavnytstva Lvivskoi Politekhniky [in Ukrainian].
8. Volosetskiy, B. I. (2003). *Inzhenerna heodeziia. Heodezychni roboty dlia proektuvannia i budivnytstva vodohospodarskykh ta hidrotekhnichnykh sporud* [Engineering geodesy. Geodesical works for projecting and building water supply and hydrotechnical structures]. Lviv: Vydavnytstvo Lvivska politekhniky [in Ukrainian].



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

9. Instruktziia z topografichnoho znimannia u mashtabakh 1:5000.-1:500. (HKNTA-2.04-02-98) [Instruction on topographical shooting in scale 1:5000.-1:500] (1992). Kyiv: HUHК [in Ukrainian].

10. Hlotov, V., Chyzhevskiy, V. O. Tereshchuk, & Movenko, V. (2007). Rozroblennya tekhnolohiyi otsinky stanu berehovoyi liniyi rusel serednikh i velykykh rik Ukrainy [Development of technology for river bank lines of middle and large rivers river-beds estimation in Ukraine]. *Zbirnyk naukovykh prats Zakhidnoho heodezychnoho tovarystva UTHK "Suchasni dosyahnennya heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Collection of scientific works of Western geodesic society UTGK «Modern achievements of geodesic science and production. (Vol. 1, pp. 180–184). Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu «Lvivska politekhnikha» [in Ukrainian].*

UDC 528.72/73

Victor Movenko

### THE HYDROGRAPHICAL OBJECTS' MONITORING OF THE TERRITORY OF «KORDIVKA» AREA IN CHERNIHIV

**Urgency of the research.** Theme the necessity of providing the proper ecology and environmental preservation come forward the important constituent of steady development of modern society environmental preservation. Interdependence of economic development with a natural environment most closely reveals exactly in cities, that predetermines a necessity constantly to renew and support a park economy in a proper state. Parks not only clear air and make ecology healthy, they are instrumental in moral and cultural education of population, create terms for family rest, unity of people with nature. Providing of valuable development of municipal garden-park economy is a complicated and complex problem which includes an additional need for financial resources, and necessity of update of techniqu, and upgrading management, by the green economy of town.

**Target setting.** Recently among scientists and practical workers the attention grows to the problems of garden-park economy as the inalienable part of providing of steady development of country. At the same time, they need more attention of question of study and distribution of progressive practical experience on the effective management of garden-park economy of cities. The improvement of the modern state of array of «Kordivka» of Chernihiv town needs obligatory monitoring of hydrographical objects of town park, processing of graphic and text documents and granting of recommendations, in relation to necessary for this purpose works.

**Actual scientific researches and issues analysis.** The last publications in the opened access, devoted to the problems of development of municipal garden-park economy and problems of preserving water resources, were considered.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** The researches of hydrographical objects of territory of array «Kordivka», creations of current document and resulted recommendation in relation to the improvement of the ecological state of town park.

**The statement of basic materials.** In the article the questions of monitoring of hydrographical objects of array «Kordivka» of Chernihiv are examined, work from the topographical photoing of water, question of development of municipal garden-park economy and preserving water resources of natural boundary.

**Conclusions.** The resulted recommendations are in relation to the improvement of the ecological state of hydrographical objects of array «Kordivka» of Chernihiv town.

**Keywords:** monitoring of gidrografical objects; the array «Kordivka» Chernihiv; water resources.

Fig.: 4. Bibl.: 10.

УДК 528.72/73

Виктор Мовенко

### МОНИТОРИНГ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ МАССИВА «КОРДОВКА» г. ЧЕРНИГОВА

**Актуальность темы исследования.** Важной составляющей устойчивого развития современного общества выступает необходимость обеспечения надлежащей экологии и сохранение окружающей среды. Взаимозависимость экономического развития с естественной средой наиболее тесно проявляется именно в городах, что предопределяет необходимость постоянно возобновлять и поддерживать парковое хозяйство в надлежащем состоянии. Парки не только очищают воздух и оздоравливают экологию, они способствуют моральному и культурному воспитанию населения, создают условия для семейного отдыха, единение людей с природой. Обеспечение полноценного развития городского садово-паркового хозяйства является сложной и комплексной проблемой, которая включает и дополнительную потребность в финансовых ресурсах, и необходимость обновления техники, и повышение качества менеджмента зеленым хозяйством города.

**Постановка проблемы.** В последнее время среди научных работников и практиков растет внимание к проблемам садово-паркового хозяйства в качестве неотъемлемой составляющей обеспечения устойчивого развития страны. В то же время, нуждаются в большем внимании вопросы изучения и распространения прогрессивного практического опыта по эффективному управлению садово-парковым хозяйством больших городов. Улучшение современного состояния массива «Кордовка» г. Чернигова нуждается в обязательном проведении мониторинга гидрографических объектов городского парка, оформлении графических и текстовых документов и предоставлении рекомендаций, относительно необходимых для этого работ.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Были рассмотрены последние публикации в открытом доступе, посвященные проблемам развития городского садово-паркового хозяйства и проблемам сохранения водных ресурсов.

**Постановка задания.** Рассмотрены исследования гидрографических объектов территории массива «Кордовка», создания отчетной документации и приведены рекомендации относительно улучшения экологического состояния городского парка.

**Изложение основного материала.** В статье рассматриваются вопросы мониторинга гидрографических объектов массива «Кордовка» г. Чернигова, работы топографической съемки водотоков, вопросы развития городского садово-паркового хозяйства и сохранения водных ресурсов урочища.

**Выводы в соответствии со статьей.** Приведены рекомендации относительно улучшения экологического состояния гидрографических объектов массива «Кордовка» г. Чернигова.

**Ключевые слова:** мониторинг гидрографических объектов; массив «Кордовка» г. Чернигова; водные ресурсы.

Рис.: 4. Библ.: 10.

**Мовенко Віктор Іванович** – старший викладач кафедри геодезії, картографії та землеустрою, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Мовенко Виктор Иванович** – старший преподаватель кафедры геодезии, картографии и землеустройства, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Movenko Victor** – senior lecturer of Department of Geodesy, Cartography and Land Management, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** viktor.movenko@gmail.com

**ORCID:** orcid.org/0000-0003-3395-3476

**ResearcherID:** H-2364-2016

**Google Scholar:** <https://scholar.google.com.ua/citations?user=YNgIHagAAAAJ&hl=ru>

Микола Корзаченко

## ПІДСИЛЕННЯ ФУНДАМЕНТІВ МАЛОПОВЕРХОВИХ БУДИНКІВ У ЩІЛЬНИХ УМОВАХ

**Актуальність теми дослідження.** Зведення нових будинків, прокладання інженерних мереж, розширення доріг, влаштування підземних паркінгів та переходів без урахування впливів на сусідні будівлі призводить до їх передчасного руйнування.

**Постановка проблеми.** У більшості будівель, навіть після проведення ремонту чи підсилення надземних конструкцій, деформації не припиняються, призводячи до часткового або повного руйнування.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема будівництва у складних інженерно-геологічних умовах та в існуючій щільній забудові присвячено багато публікацій.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Методи підсилення фундаментів та основ, розроблені різними науковими школами, не завжди можна застосовувати в малоповерховій забудові, враховуючи її особливості.

**Постановка завдання.** Удосконалити метод підсилення фундаментів малоповерхових будинків у щільних умовах, враховуючи місцевий досвід та особливості рельєфу.

**Виклад основного матеріалу.** На основі аналізу конструктивно-планувального рішення існуючої малоповерхової забудови, типів фундаментів та особливостей їх конструктивних рішень і ґрунтових умов розроблено нове конструктивне рішення до підсилення існуючих фундаментів в умовах схилів з нахилом до  $10^\circ$ , що використано на реальному об'єкті, а його доцільність підтверджена числовим моделюванням та натурними спостереженнями за деформаціями основи. Спосіб підсилення фундаментів включає підсилення основ фундаментів та влаштування підпірної стінки між схилом і будинком, який полягає в тому, що наявний фундамент з'єднується монолітною армованою плитою з новим фундаментом та підпірною стінкою.

**Висновки відповідно до статті.** На основі аналізу конструктивних особливостей фундаментів малоповерхових будинків розроблено метод підсилення фундаментів малоповерхових будинків у щільних умовах з урахуванням особливостей рельєфу.

**Ключові слова:** фундамент; підсилення; основа; малоповерховий будинок; щільні умови; моделювання.

Рис.: 2. Бібл.: 8.

**Актуальність теми дослідження.** У великих містах України зберігається велика кількість старої забудови, переважна більшість з якої дуже фізично та морально зношена. Такі будинки можуть бути пам'ятками історії й архітектури, чи просто окрасою старовинного центру міста. Зведення нових будинків, прокладання інженерних мереж, розширення доріг, влаштування підземних паркінгів та переходів без урахування впливів на сусідні будівлі призводить до їх передчасного руйнування. Сприяє руйнуванню будинків і порушення правил експлуатації, непривальне перепланування, ремонті чи реставраційні роботи, особливо в щільних міських умовах. На сьогодні відомо досить багато способів підсилення несучих конструкцій, основ і фундаментів будівель і споруд.

**Постановка проблеми.** Як показує аналіз [1], у більшості будівель, навіть після проведення ремонту чи підсилення надземних конструкцій, деформації не припиняються, призводячи до часткового або повного руйнування. При реконструкції об'єктів та відновленні деформованих будівель і споруд, особливо у стиснених умовах, необхідно обирати малогабаритне технологічне устаткування та оснащення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблема будівництва у складних інженерно-геологічних умовах та в існуючій щільній забудові присвячено багато публікацій [2–7]. Зокрема, особливо широко цю проблему вивчали українські інститути, у тому числі НДІ будівельних конструкцій (сьогодні – ДП НДІБК), НДІ «Проектреконструкція» тощо.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Методи підсилення фундаментів та основ, розроблені різними науковими школами, не завжди можна застосовувати в малоповерховій забудові, зважаючи на її особливості. Допоміжним фактором ускладнення процесу реконструкції є стиснені умови та щільна забудова.

**Постановка завдання.** Удосконалити метод підсилення фундаментів малоповерхових будинків у щільних умовах, враховуючи місцевий досвід та особливості рельєфу.

**Виклад основного матеріалу.** При зведенні будівель і споруд у щільній малоповерховій забудові не завжди звертається увага на особливості території, на якій розташовані будівлі та споруди.

При недостатньому практичному досвіді зведення будівель в умовах щільної забудови можуть виникати негативні фактори, такі як тріщини в несучих стінах, фундаментах, перекриттях, деформування основ та фундаментів поруч із розташованими спорудами, підвищення рівня ґрунтових вод тощо.

Відсутність налагоджених технологій зведення будинків в умовах щільної міської забудови, недостатній практичний досвід будівельних організацій, які мають здійснювати комплекс складних робіт, є причинами деформування будівель, а в окремих випадках призводять до руйнувань, завдаючи при цьому значних збитків.

Одним із найбільш трудомістких і відповідальних будівельних процесів і робіт в умовах щільної міської забудови є влаштування фундаментів і конструкцій підземної частини будівель поруч з існуючими будинками. Трудомісткість влаштування таких об'єктів становить 30–40 % від загальної трудомісткості, а в особливих інженерно-геологічних умовах може перевищувати 50 % [8].

Аналіз практичного досвіду зведення будинків у щільній малоповерховій забудові м. Чернігова дає можливість виокремити основні причини, які призводять до деформацій основ і фундаментів розташованих поряд будинків, а саме:

- динамічні впливи на поряд розташовані будинки під час забивання паль, шпунтів чи інших механізованих робіт;
- виконання дренажних робіт;
- будівництво будинків та прибудов без відповідних технічних заходів;
- виконання неефективних методів підсилення фундаментів та основ.

Обґрунтування раціональних рішень щодо зведення конструкцій підземної частини повинно базуватися на комплексному аналізі особливостей майданчику будівництва, об'ємно-планувального та конструктивного вирішення поруч розташованих будинків.

На основі проведених досліджень можна виокремити таку групу факторів, які необхідно враховувати під час проведення проектування та будівництва поруч із розташованими будинками:

- 1) наявність на майданчику слабких та нерівномірно стискуваних ґрунтів;
- 2) наявність високого рівня ґрунтових вод;
- 3) ґрунти на майданчику можуть перебувають у водонасиченому та пластичному стані;
- 4) старі розташовані поруч будинки зазвичай мають фундаменти неглибокого закладання на природній основі – насипні сильностискувальні водонасичені ґрунти, які здатні ущільнюватися або втрачати стійкість при динамічних впливах;
- 5) заглиблення фундаментів під нові будинки здебільшого більше, ніж у існуючих будинках, що може привести до розвитку суфозії із під подошви фундаментів розташованих поруч будинків;
- 6) нові будинки, переважно підвищеної поверховості, суттєво завантажують сусідні ділянки – можливі значні сумісні осадки основи і фундаментів розташованих поруч будинків.

Будівництво в умовах щільної міської забудови є досить складним завданням і потребує цілого комплексу робіт.

При будівництві в щільних умовах необхідно забезпечити не лише збереження будинків, споруд, пам'яток архітектури та історії розташованих поряд, але й забезпечити нормальні умови проживання та праці мешканців у поруч розташованих будинках.

Особливої уваги заслуговують території з історичною щільною забудовою та складними інженерно-геологічними умовами. Територія України, на якій відбувається буді-

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

вництво та експлуатація об'єктів, більше ніж 80 % відноситься до складних інженерно-геологічних умов. Це будинки і споруди, основи яких складені слабкими та просідаючими ґрунтами, розташовані на наливних територіях, зсувонебезпечних схилах, карстових утвореннях, районах над гірничими виробками тощо [8].

На основі аналізу конструктивно-планувального рішення існуючої малоповерхової забудови, типів фундаментів та особливостей їх конструктивних рішень і ґрунтових умов розроблено нове конструктивне рішення до підсилення існуючих фундаментів в умовах схилів із нахилом до 10°, що використано на реальному об'єкті, а його доцільність підтверджена числовим моделюванням та натурними спостереженнями за деформаціями основи (рис. 1, а).

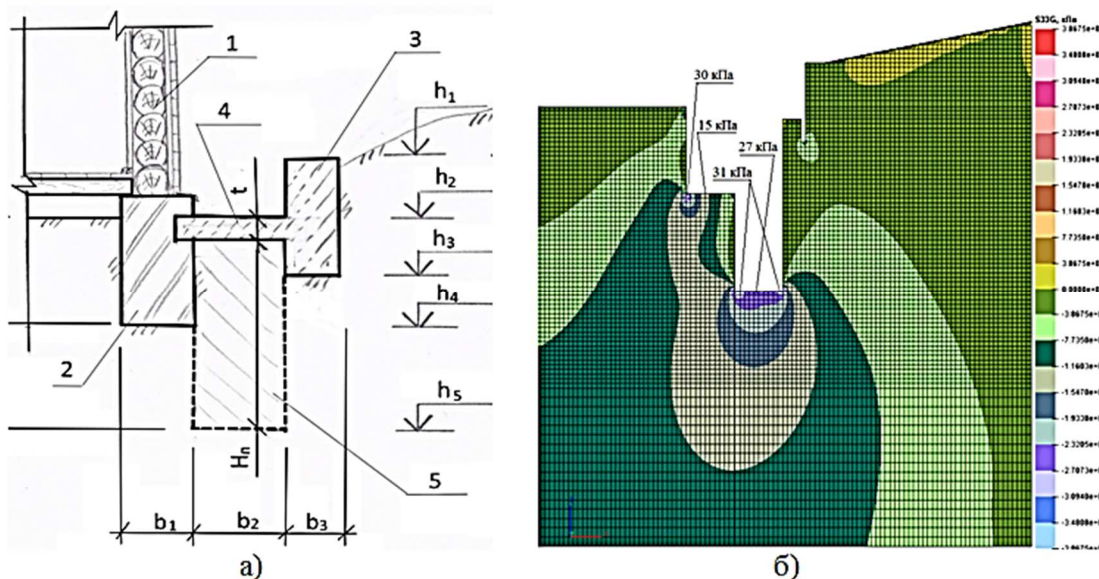


Рис. 1. Варіант підсилення існуючого фундаменту будинку, що розташований на схилі:  
 а – загальна схема: 1 – стіна існуючого будинку; 2 – існуючий фундамент, 3 – підпірна стінка;  
 4 – залізобетонна плита; 5 – новий фундамент (стовпчастий, стрічковий або пальовий);  
 б – ізополя додаткових вертикальних напружень, кПа

Спосіб підсилення фундаментів включає підсилення основ фундаментів та влаштування підпірної стінки між схилом і будинком, який полягає в тому, що наявний фундамент з'єднується монолітною армованою плитою з новим фундаментом та підпірною стінкою (рис. 2).



Рис. 2. Фото об'єкта з підсиленням запропонованим методом:  
 а – під час виконання робіт; б – фото після 4 років експлуатації об'єкта

Метою дослідження була оцінка ефективності запропонованого варіанта підсилення фундаменту. Об'єкт дослідження – напружено-деформований стан наявного фундаменту та ґрунтової основи.

Дослідження проводилось шляхом числового моделювання спільної роботи елементів системи «ґрунтова основа – фундамент» методом скінчених елементів на базі автоматизованої системи наукових досліджень «VESNA» у двовимірній постановці з використанням пружно-пластичної моделі ґрунту. Розрахунки проводились у нелінійній постановці з урахуванням як фізичної, так і конструктивної нелінійності.

Відповідно до концепції квазірегулярних сіток «розрахункова ділянка», до складу якої входять усі елементи системи «ґрунтова основа – фундамент – будівля», розділяється на фрагменти з типологічно регулярною сіткою скінчених елементів. Кожний такий фрагмент відображається відповідним паралелепіпедом, довжина ребер якого відповідає кількості скінчених елементів (СЕ), які прилягають до відповідного ребра. Паралелепіпед має локальну систему координат  $X_1, X_2, X_3$ , початок якої збігається з вершиною паралелепіпеда. При цьому вузли сітки і скінченні елементи нумеруються по порядку в межах фрагмента (паралелепіпеда). Нумерація починається від початку локальної системи координат, і згідно з нею вводяться вхідні дані та виводяться результати розрахунків у вигляді таблиць та графічних відображень.

Розрахункова схема системи будується за списком імен фрагментів з урахуванням контакту між фрагментами у спільних вузлах. Все це забезпечує необхідну гнучкість системи в процесі дослідження роботи окремих вузлів споруди та визначення впливу одних конструктивних елементів на інші, а також спрощення на етапі обробки результатів аналізу їхнього напружено-деформованого стану.

Розрахункові навантаження узгоджено зі збором навантажень, що включають власну вагу конструкцій будинку й тимчасові корисні навантаження з урахуванням відповідних коефіцієнтів надійності. Навантаження від власної ваги будинку та тимчасові навантаження передаються через подошву фундаменту на ґрунтову основу.

ґрунтова основа розглядалась як пружно-пластичне багатошарове тіло відповідно до геологічного розрізу. Розташування, потужність та механічні властивості ґрунтових шарів основи прийнято згідно з даними інженерно-геологічних вишукувань.

Деформаційні властивості ґрунтової основи характеризуються модулем деформації ґрунту та коефіцієнтом Пуассона.

За початковий стан був прийнятий напружено-деформований стан ґрунтового масиву від власної ваги. Кожний наступний етап враховував НДС попереднього етапу.

Розміри «вирізаної» частини основи та граничні умови на обмежуючих площинах призначались таким чином, щоб найбільш точно врахувати особливості взаємодії основи під фундаментом з оточуючим ґрунтовим масивом та щоб можна було горизонтальні переміщення й осідання вважати досить малими, щоб закріпити точки ґрунтової основи на цих площинах вздовж осей  $X$  і  $Y$ .

Осідання ґрунтового масиву під подошвою наявного фундаменту за результатами розрахунків прогнозується не більше 1 мм. Результати розрахунків взаємодії елементів системи для варіанта із застосуванням заходів щодо підсилення фундаменту, показали, що очікуваний приріст деформацій наявного фундаменту не перевищує 0,5 мм, при цьому сумарна величина вертикальних деформацій становить 1,4 мм.

Горизонтальні переміщення за результатами числового моделювання становили 0,3 мм у верхній частині поряд розташованого укусу, а в точці контакту бічної поверхні фундаменту з поверхнею ґрунту – не перевищують 0,1 мм. Приріст горизонтальних переміщень фундаменту за результатами числового моделювання відсутній.

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

Ізополя додаткових вертикальних напружень після підсилення наявного фундаменту будинку показані на рис. 1, б. Унаслідок розвантаження наявного фундаменту, очікується зменшення значення напружень на рівні підшви фундаменту з 22 кПа до 15 кПа під центром наявного стрічкового фундаменту.

Дотичні напруження з боку навколо розташованого укосу не перевищують 4 кПа. При цьому відбувається утворення зон – концентраторів по кутах підшви фундаменту, де дотичні напруження становлять 7-10 кПа. Після влаштування заходів щодо підсилення наявного фундаменту очікується незначне збільшення значень напружень у зонах-концентраторах – до 15 кПа під кутом наявного фундаменту.

**Висновки відповідно до статті.** На основі аналізу конструктивних особливостей фундаментів малоповерхових будинків розроблено метод підсилення фундаментів малоповерхових будинків у щільних умовах з урахуванням особливостей рельєфу. Цей метод рекомендовано застосовувати при підсиленні існуючих фундаментів в умовах схилів з нахилом до 10°.

Запропонований варіант підсилення існуючого фундаменту додатково дозволив зменшити величину дотичних напружень з боку поряд розташованого підвищення поверхні рельєфу.

### Список використаних джерел

1. Корзаченко М. М. Дослідження для запобігання руйнацій будівельних об'єктів / М. М. Корзаченко, І. М. Іванова // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – № 41. – С. 144–147.
2. Осипов О. Ф. Будівництво в умовах міської забудови. Досвід і перспективи // Містобудування та територіальне планування / О. Ф. Осипов, І. Т. Гладун // Науково-технічний збірник. – К. : КНУБА, 2004. – Вип. 17. – С. 216–224.
3. Осипов О. Ф. Технологічні аспекти зведення конструкцій підземної частини з поруч розташованими будинками / О. Ф. Осипов, І. Т. Гладун, Ф. Н. Акимов // Будівництво та техногенна безпека : збірник наукових праць. – Сімферополь : Національна академія природоохоронного та курортного будівництва, 2007. – Вип. 22. – С. 70–75.
4. Гранько О. В. Робота системи «Основа-фундамент-будівля» при надбудові / О. В. Гранько, О. В. Суходуб // Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2013. – № 3 (38), т. 2. – С. 64–68.
5. Zotsenko N. L. Long-Term Settlement of Buildings Erected on Driven Cast-In-Situ Piles in Loess Soil / N. L. Zotsenko, Y. L. Vinnikov // Soil Mechanics and Foundation Engineering. – July 2016. – Vol. 53, Issue 3. – Pp. 189–195.
6. Улицкий В. М. Геотехническое сопровождение развития городов (практическое пособие по проектированию зданий и подземных сооружений в условиях плотной застройки) / В. М. Улицкий, А. Г. Шашкин, К. Г. Шашкин. – СПб. : Стройиздат Северо-Запад, 2010. – 552 с.
7. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под ред. В. А. Ильичева и Р. А. Мангушева. – М. : Изд-во АСВ, 2014. – 728 с.
8. Матвеев І. В. Складні інженерно-геологічні та сейсмонезбезпечні умови України і напрямки досліджень, що потребують вирішення за потреби будівництва / І. В. Матвеев // Світ Геотехніки. – 2013. – № 3. – С. 16–19.

### References

1. Korzachenko, M. M. & Ivanova, I. M. (2011). Doslidzhennya dlya zapobihannya ruinatsiyi budivelnikh obyektiv [Research for preventing the destruction of construction sites]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektur – Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 41, 144–147 [in Ukrainian].
2. Osypov, O. F., Hladun, I. T. (2004). Budivnytstvo v umovakh miskoyi zabudovy. Dosvid i perspektyvy [Construction in the conditions of urban development. Experience and Prospects]. *Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya. Naukovo-tekhnichnyi zbirnyk – Urban Planning and Territorial Planning. Scientific and technical collection*, 17, 216–224 [in Ukrainian].

3. Osipov, O. F., Gladun, I. T. & Akimov, F. N. (2007). Tekhnolohichni aspekty zvedennya konstruktysyi pidzemnoi chastyny z poruch roztashovany my budynkamy [Technological aspects of construction of underground structures with nearby houses]. *Budivnytstvo ta tekhnohenna bezpeka. Zbirnyk naukovykh prats – Construction and technogenic safety. Collection of scientific works*, 22, 70-75 [in Ukrainian].

4. Hranko, O. V. & Sukhodub, O. V. (2013). Robota systemy «Osnova-fundament-budivlia» pry nadbudovi [Work of the system «Basis-foundation-building» in the superstructure]. *Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannya, budivnytstvo – Collection of scientific works (branch engineering, construction)*, 3 (38), 2, 64-68 [in Ukrainian].

5. Zotsenko, N. L., & Vinnikov, Y. L. (2016). Long-Term Settlement of Buildings Erected on Driven Cast-In-Situ Piles in Loess Soil. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 53 (3), 189–195.

6. Ulitskiy, V. M., Shashkin, A. G. & Shashkin, K. G. (2010). *Geotekhnicheskoye soprovozhdeniye razvitiya gorodov (prakticheskoe posobie po proektirovaniu zdaniy i podzemnykh sooruzheniy v usloviakh plotnoi zastroyki)* [Geotechnical support of the development of cities (a practical guide to the design of buildings and underground structures in dense housing)]. St. Petersburg: Stroyizdat North-West [in Russian].

7. Ilichyova, V. A. & Mangusheva, R. A. (ed.) (2014). *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenti i podzemnye sooruzheniya* [Reference book of geotechnics. Foundations, foundations and underground structures]. Moscow: Publishing House of the DIA [in Russian].

8. Matvieyev, I. V. (2013). Skladni inzhenerno-heolohichni ta seismonebezpechni umovy Ukrainy i napriamky doslidzen, shcho potrebuyut vyrishennya za potreby budivnytstva [Complex engineering geological and seismic-hazardous conditions of Ukraine and areas of research that require a solution for the needs of construction]. *Svit Heotekhniki – World Geotechnics*, 3, 16–19 [in Ukrainian].

UDC 624.159.4

Mykola Korzachenko

## REINFORCEMENT OF FOUNDATION IN LOW-RISE BUILDINGS IN CRAMPED SETTINGS

**Urgency of the research.** Erection of new buildings, laying pipelines and networks, roads widening, and developing underground parking and passages not taking into consideration the impact on the neighbor buildings brings about their early destruction.

**Target setting.** In the majority of buildings, even after a repair work or aboveground constructions reinforcement, deformation doesn't cease causing partial or complete destruction.

**Actual scientific researches and issues analysis.** A whole number of publications is dedicated to problems of construction in complex geotechnical conditions and in the existing cramped settings.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Methods of foundation and basis reinforcement designed by different research institutes may not always be used in low-rise buildings taking into consideration its specificities.

**The research objective.** To improve the method of reinforcement of foundation in low-rise buildings in a cramped setting taking into consideration local experience and relief peculiarities.

**The statement of basic materials.** Based on the analysis of engineering and planning solution for the existing low-rise building, foundation types and peculiarities of their engineering solutions and soil conditions, a new engineering solution – to reinforce existing foundations in the condition of hills with a 10 degree incline – was designed; this solution was applied to a real object. The method of foundation reinforcement includes fortification of the foundation basis and construction of an abutment between the hill and the building; it consists in the following: the existing foundation is connected by a solid reinforced slab to the new foundation and the abutment.

**Conclusions.** Based on the analysis of structural peculiarities of low-rise buildings a method to reinforce foundations in low-rise buildings in cramped settings, taking into account relief specificities, was designed.

**Keywords:** foundation; reinforcement; basis; low-rise building; cramped settings; modeling.

Fig.: 2. References: 8.

УДК 624.159.4

Николай Корзаченко

## УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В ПЛОТНЫХ УСЛОВИЯХ

**Актуальность темы исследования.** Возведение новых зданий, прокладка инженерных сетей, расширение дорог, устройство подземных паркингов и переходов без учета влияния на соседние здания приводит к их преждевременному разрушению.

**Постановка проблемы.** В большинстве обследованных зданиях, даже после проведения ремонта или усиления надземных конструкций, деформации не прекращаются, приводя к частичному или полному разрушению.



## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

**Анализ последних исследований и публикаций.** Проблемам строительства в сложных инженерно-геологических условиях и в существующей плотной застройке посвящен целый ряд публикаций.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Методы усиления фундаментов и оснований, разработанные различными научными школами, не всегда можно применять в малоэтажной застройке, учитывая ее особенности.

**Постановка задачи.** Усовершенствовать метод усиления фундаментов малоэтажных зданий в плотных условиях учитывая местный опыт и особенности рельефа.

**Изложение основного материала.** На основе анализа конструктивно-планировочного решения существующей малоэтажной застройки, типов фундаментов и особенностей их конструктивных решений и грунтовых условий разработано новое конструктивное решение к усилению существующих фундаментов в условиях склонов с наклоном до 10°, метод использован на реальном объекте, а его целесообразность подтверждена числовым моделированием и натурными наблюдениями за деформациями основания. Способ усиления фундаментов включает усиления оснований фундаментов и устройство подпорной стенки между склоном и домом, который заключается в том, что фундамент существующего здания соединяется монолитной армированной плитой с новым фундаментом и подпорной стенкой.

**Выводы в соответствии со статьей.** На основе анализа конструктивных особенностей фундаментов малоэтажных домов разработан метод усиления фундаментов малоэтажных домов в плотных условиях с учетом особенностей рельефа.

**Ключевые слова:** фундамент; усиление; основание; малоэтажный дом; плотные условия; моделирование.

Рис.: 2. Библ.: 8.

**Корзаченко Микола Миколайович** – викладач, Чернігівський національний технологічний університет (вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14035, Україна).

**Корзаченко Николай Николаевич** – преподаватель, Черниговский национальный технологический университет (ул. Шевченко, 95, г. Чернигов, 14035, Украина).

**Korzachenko Mykola** – lecturer, Chernihiv National University of Technology (95 Shevchenka Str., 14035 Chernihiv, Ukraine).

**E-mail:** korzachenko\_87@meta.ua

**ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-5674-8662>

**ResearcherID:** F-5177-2016

UDC 624.15

DOI: 10.25140/2411-5363-2018-2(12)-290-296

*Mykola Kornienko, Veronika Zhuk, Samar Abed, Igor Chegodaev***EXPERIENCE OF FIXING A WEAK BASE FOUNDATION BY VERTICAL SOIL-CEMENT ELEMENTS USING DRILL-MIXING TECHNOLOGY**

**Urgency of the research.** Most construction sites in Ukraine have soil conditions area created by weak soils. Permanent pursuit of economical of engineering solutions require the use of new design solutions in the construction on weak soils.

**Target setting.** In the last years new ways to fixing base of foundations using drill-mixing technology are gaining popularity. In the process of drilling a special wing bit is a destruction of natural soil and mixing with cement solution. As a result of solidification mixture formed is solid soil-cement element.

**Actual scientific researches and issues analysis.** It has been previously performed in the laboratory study of strength soil-cement vertical elements depending on the amount of cement composition "soil-cement", water-cement ratio in the mixture clay-cement additives properties. In order to a preliminary assessment of effectiveness fixing foundation using drill-mixing technology numerical simulation was performed.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Using the weak soils as the basis for foundations of buildings and structures is seen in view of the possible destruction of their structure and the development of non-uniform deformation.

**The research objective.** Perform evaluation of the effectiveness of fixing the building foundations on the example of a real construction site.

**The statement of basic materials..** In practice fixing foundations was performed using drill-mixing technology at the construction site in the city of Kiev. The article presents data about the experience fixing of weak base foundation, composed bulk soils with the contents of construction and domestic garbage. Fixing performed by soil-cement vertical elements using drill-mixing technology.

**Conclusions.** The choice of a rational scheme of «basis - the foundation - over ground part of the building» should be based on an objective assessment of the mechanical properties of soil, and bearing structures of the building. Applying the basics fixing technology has allowed to reduce the cost of foundation structures up to 20 %.

**Keywords:** weak base; soil-cement; drill-mixing technology; base fixing; monitoring.

*Fig.: 6. Table: 1. References: 7.*

**Urgency of the research.** In the last years new ways to fixing base of foundations using drill-mixing technology are gaining popularity. In the process of drilling a special wing bit is a destruction of natural soil and mixing with cement solution. As a result of solidification mixture formed is solid soil-cement element.

Fixing by drill-mixing technology can be applied in weak soils, including sand, clay, silt and loess. This fixing enables to create constructions from soil-cement as vertical elements under foundations any construction. The vertical elements can be executed with a diameter of 0.5...1.0 m depth 10 m 25 m and solution injection pressure 1...3 MPa [1; 2].

Production work on the fixing drill-mixing technology consists of two basic steps:

- preparation of water-cement solution;
- injecting cement solution and mixing with the soil by immersion.

**Actual scientific researches and issues analysis.** It has been previously performed in the laboratory study of strength soil-cement vertical elements depending on the amount of cement composition "soil-cement", water-cement ratio in the mixture clay-cement additives properties [3].

By results of physical modeling fixing foundation in the laboratory been substantiated fixing using soil-cement elements in loamy soils during reconstruction of buildings [4].

In order to a preliminary assessment of effectiveness fixing foundation using drill-mixing technology was performed numerical simulation [5]. Considering options fixing foundations with a different arrangement of vertical elements in the plan.

**Uninvestigated parts of general matters defining.** Most construction sites in Ukraine have soil conditions area created by weak soils. Permanent pursuit of economical of engineering solutions require the use of new design solutions in the construction on weak soils.

**Target setting.** Using the weak soils as the basis for foundations of buildings and structures is seen in view of the possible destruction of their structure and the development of non-uniform deformation. Experimental records about fixing will allow to optimize the structural solution of foundation structures of buildings.

**The research objective.** Perform evaluation of the effectiveness of fixing the building foundations on the example of a real construction site.

**The statement of basic materials.** In practice fixing foundations was performed using drill-mixing technology at the construction site in the city of Kiev. There planned to build the complex of residential buildings with infrastructure facilities. The surface area of the construction site was generated in the process of engineering construction companies (soil dump, is often with remains of building structures and garbage) and waste of local industry and the activities of residents.

The investigated region refers to the southern border of Kiev. Therefore, the indigenous sediments here has accumulated water-glacial deposits of sand, sandy loam, clay loam and moraine. These soils are deposited in all territory of the area.

The development surface erosion led to the formation of ravines. In this area, the active erosion was completed. Slopes under the action natural factors were formed as resistant to landslide processes.

However, technogenic activities during the last century gradually began to influence: the bottom of the ravine was filled actively domestic waste, construction soil with waste residues of building structures and construction debris. This of course affects the geotechnical and hydrogeological conditions.

The construction of this area also lead to certain changes in his condition. According to the project allocated four lines construction of houses. Building queue is shown in Figure 1.

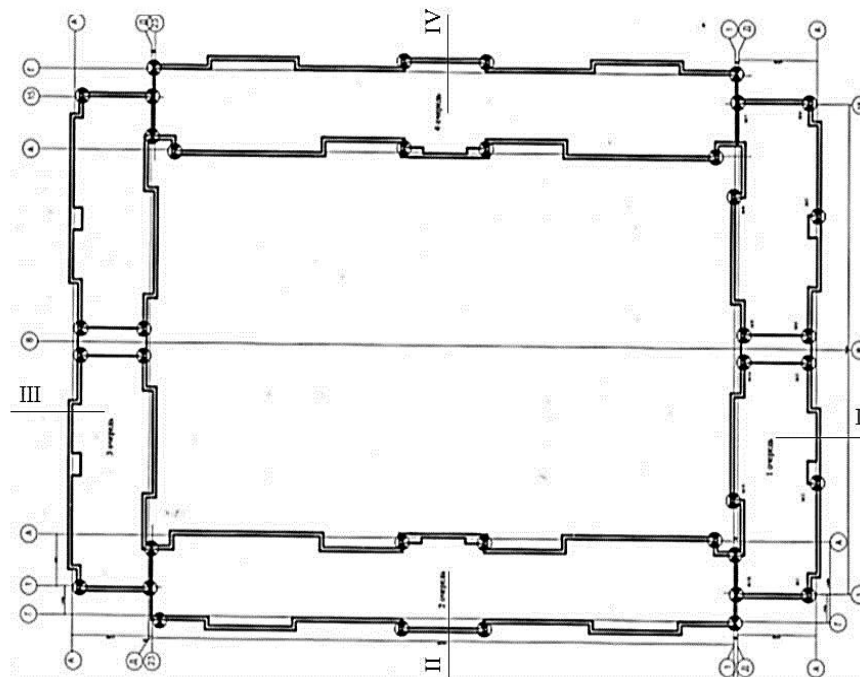


Fig. 1. Plan for residential complex with allocation queue

Erection of buildings started with the simplest area on ground conditions (queue I). Monitoring subsidence base of foundations residential building (queue I), erected on the sand cushion is shown in Figure 2.

Indicators of mechanical properties on the stability of the base in water saturated condition shown in Table.

Table

*Mechanical characteristics soil*

type of soil	$\phi_i$ , degrees	$c_i$ , kPa	$E$ , MPa
sand	27...31	2...3	25...35
sandy loam	19...21	11...19	20...22
loam	17	20	25

In the surface area of the building overlies bulk soils representing the weak soils with the content construction debris and decomposing household waste. Thickness bulk layer soil up to 18 m.

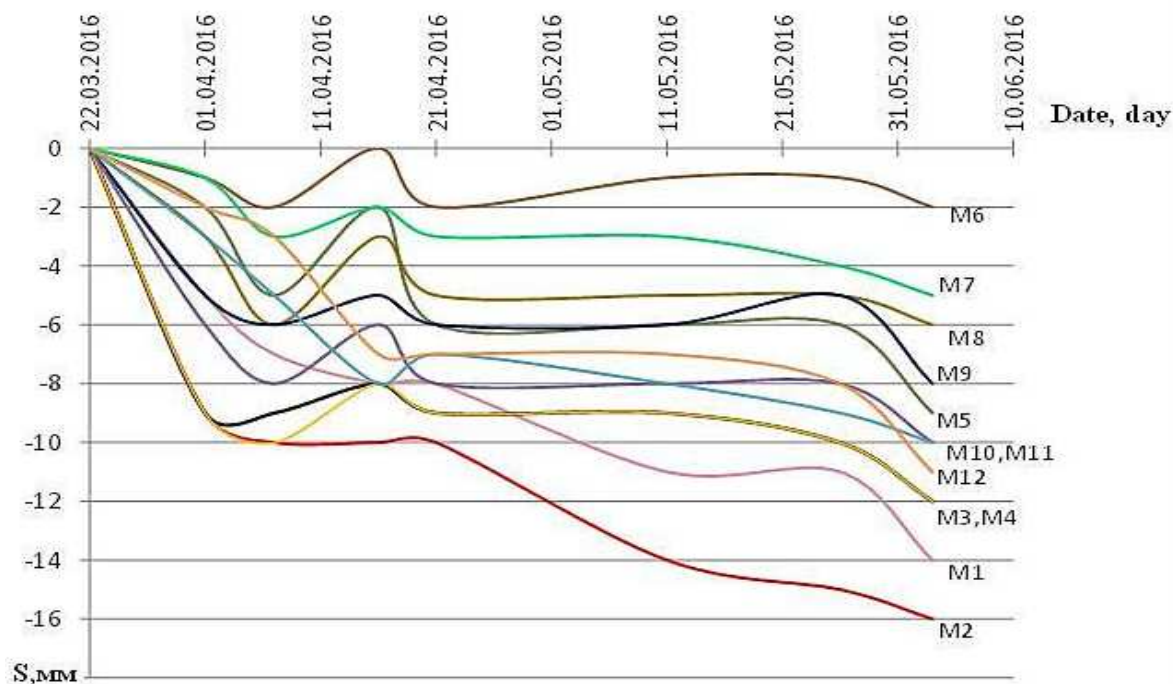


Fig. 2. Monitoring base subsidence of residential building foundation (queue I) erected on the sand cushion

Application fixing under a slab foundation by soil-cement vertical elements using drill-mixing technology enables a whole to improve the general situation the preparation of base on available technology and has additional positive sides:

- fixing can be performed corresponding to the bottom level of ground pads of entire space so that ensures continuous improvement in the bulk soil characteristics;
- fixing indicates the possibility of its fulfillment in accordance with the technological requirements of to the desired depth, so that the thickness of the bulk layer is fully amplified;
- laboratory tests confirm that soil-cement strength increases with time, that is, over time, the reliability of fixing weakly soil increases.

Practice confirms that in time the strength in the soil massif, which is fixed, can be increased to 1.5 times [6; 7]. Diagram fixing under slab foundation soil-cement elements and location of elements shown in plan in Figs. 3, 4.

Production work on the fixing soil-cement elements using drill-mixing technology – in Fig. 5. General view performance of work is shown in Fig. 6.

To improve ecological protection organics were recommended to add bentonite in cement solution an amount of 1 % by weight of cement. Bentonite clay can actively absorb the allocating.

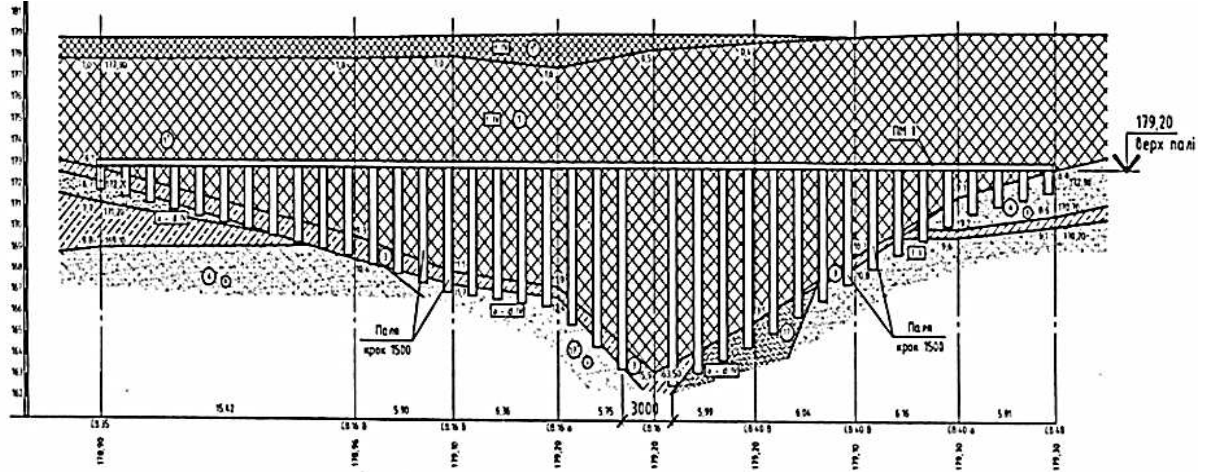


Fig. 3. Diagram fixing under slab foundation soil-cement elements

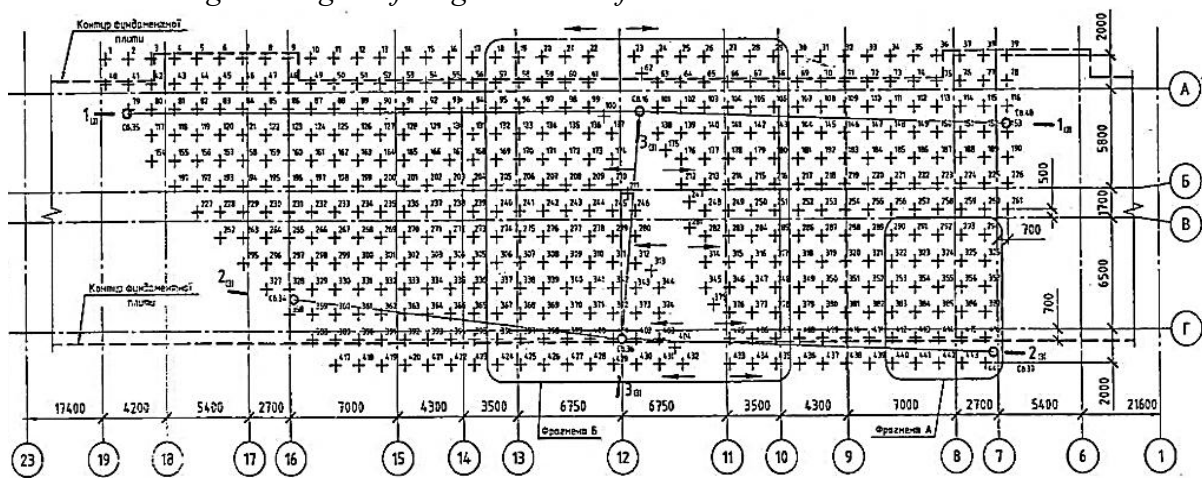


Fig. 4. Location of elements shown in plan



Fig. 5. Production work on the fixing soil-cement elements using drill-mixing technology

To ensure the strength of the vertical elements of critical actions (subsidence bulk soil, surrounding the trunks, will lead to the manifestation of the effect of “negative friction”), it was decided to increase the consumption of cement and 120 ... 150 kg per meter of vertical elements. Due to the increased risk, step between vertical elements, it was decided to reduce to 1.5 m.

Fixing foundation residential complex by soil-cement vertical elements using drill-mixing technology allowed to reduce cost of the work of building foundations up to 20 %. This fixing was successful and the deformation of the building being reduced did not exceed the results of monitoring of 30 mm.



Fig. 6. General view performance of work: preparation of foundation (a); the device of the foundation slab (b); the device of basement (c); building frame (d)

**Conclusions.** The choice of a rational scheme of “basis - the foundation - over ground part of the building” should be based on an objective assessment of the mechanical properties of soil, and bearing structures of the building. The example confirms - it is necessary deeply study the properties of soils with given their change in perspective and possible fixing, as well as to control a constructive solutions and supporting structures by means of monitoring.

#### References

1. SP 45.13330.2012 *Zemlianye sooruzheniia, osnovaniia i fundamenti. Aktualizirovannaia redakciia SNIp 3.02.01-87 [Earthworks, foundations and foundations. Updated version of SNIp 3.02.01-87]* (2012). Moscow [in Russian].
2. Malinin, A. G. (2010). *Struynaiia tsementatsiia gruntov [Cementing of soils]*. Moscow: Stroyizdat [in Russian].
3. Abed, S. F. & Kornienko, M. V. (2015). Use of bentonite clay solution to fixing sandy soil. *Basis and foundations, interdepartmental scientific and technical collection*, 37, 410–414 [in English].
4. Kornienko, M. V. & Abed, S. F. (2015). The laboratory study of soil properties of clay- cement-mixture used for sand fixation. *Basis and foundations, interdepartmental scientific and technical collection*, 36, 116–221 [in English].

## TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES

5. Kornienko, M., Zhuk, V. & Abed, S. F. (2016). Stress state of the soil basis foundation, fixing soil-clay-cement piles, by results of numerical simulation. *Academic Journal. Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering*, 1 (46), 147–152 [in English].

6. Zotcenko, N., Vynnykov, Yu. & Lartseva, I. (2011). Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method. *Proceedings from: 15th European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering* (pp. 1097-1102). Amsterdam: IOS Press [in English].

7. Zotsenko, N., Vynnykov, Yu. & Zotsenko, V. (2015). Soil-cement piles by boring-mixing technology. *Energy, energy saving and rational nature use* (pp. 192-253). Oradea University Press [in English].

**References (in language original)**

1. СП 45.13330.2012. Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87. – М., 2012. – 135 с.

2. *Малинин А. Г.* Струйная цементация грунтов : монография / А. Г. Малинин. – М. : Стройиздат, 2010. – 226 с.

3. *Abed S. F.* Use of bentonite clay solution to fixing sandy soil / S. F. Abed, M.V. Kornienko // *Основи та фундаменти : міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К. : КНУБА, 2015. – Вип. 37. – С. 410–414.

4. *Корниенко Н. В.* О лабораторном исследовании свойств грунтоглиноцементной смеси, используемой для закрепления песков / Н. В. Корниенко, С. Ф. Абед // *Основи та фундаменти : міжвідомчий науково-технічний збірник*. – К. : КНУБА, 2015. – Вип. 36. – С. 116–221.

5. *Корнієнко М. В.* Напружений стан ґрундової основи фундаменту, підсиленого ґрунтоглиноцементними палями, за результатами числового моделювання / М. В. Корнієнко, В. В. Жук, С. Ф. Абед // *Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво / ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка*. – 2016. – Вип. 1 (46). – С. 147–152.

6. *Characteristics of manmade stiff grounds improved by drill-mixing method / Zotcenko N., Vynnykov Yu., Lartseva I. [et al.] // Proc. of 15th European Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*. Amsterdam: IOS Press. – 2011. Pp. 1097–1102.

7. *Zotsenko N.* Soil-cement piles by boring-mixing technology / N. Zotsenko, Yu. Vynnykov, V. Zotsenko // *Energy, energy saving and rational nature use*. – Oradea University Press, 2015. – Pp. 192–253.

УДК 624.15

*Микола Корнієнко, Вероніка Жук, Самар Абед, Ігор Чегодаєв*

**ДОСВІД ЗАКРІПЛЕННЯ СЛАБКОЇ ОСНОВИ ФУНДАМЕНТУ  
ВЕРТИКАЛЬНИМИ ГРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ  
З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ ГРУНТОЗМІШУВАННЯ**

**Актуальність теми дослідження.** Більшість будівельних майданчиків в Україні мають ґрунтові умови, створені слабкими ґрунтами. Постійне прагнення до економії інженерних рішень потребує використання нових конструктивних рішень при будівництві на слабких ґрунтах.

**Постановка проблеми.** Останніми часом популярність набуває новий спосіб закріплення фундаменту за допомогою технології ґрунтозмішування. У процесі буріння відбувається руйнування природного ґрунту й перемішування з цементним розчином. У результаті твердіння суміші утворюється твердий ґрунтоцементний елемент.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Раніше виконувалися в лабораторних умовах дослідження міцності ґрунтоцементних вертикальних елементів залежно від вмісту цементу, співвідношення «ґрунт–цемент», водноцементного співвідношення в суміші, властивостей глинисто-цементних добавок. Для попередньої оцінки ефективності закріплення фундаменту з використанням технології ґрунтозмішування було виконано числове моделювання.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Використання слабких ґрунтів як основи фундаментів будівель та споруд має розглядатися з урахуванням можливого руйнування їхньої структури та розвитку неоднорідної деформації.

**Постановка завдання.** Виконати оцінювання ефективності закріплення фундаментів будівлі на прикладі реального будівельного майданчика.

**Виклад основного матеріалу.** На практиці закріплення основи виконувалося на будівельному майданчику в м. Києві. У статті представлені досвідні дані про закріплення слабого ґрунту основи фундаментів. Зміцнення основи виконувалося вертикальними ґрунтоцементними елементами з використанням технології ґрунтозмішування.

**Висновки відповідно до статті.** При призначенні конструктивних рішень при будівництві на слабких ґрунтах необхідно глибоко вивчати властивості ґрунтів з урахуванням їх змін у перспективі та внаслідок можливого закріплення, а також контролювати ефективність застосованих заходів за допомогою моніторингу. Застосування технології фіксації основи на експериментальному майданчику дало змогу знизити вартість фундаментних конструкцій до 20 %.

**Ключові слова:** слабка основа; ґрунтоцемент; технологія ґрунтозмішування; фіксація основи; моніторинг.

Рис.: 6. Табл.: 1. Бібл.: 7.

УДК 624.15

*Николай Корниенко, Вероника Жук, Самар Абед, Игорь Чегодаев***ОПЫТ ЗАКРЕПЛЕНИЯ СЛАБОГО ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА  
ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ГРУНТОЦЕМЕНТНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ ГРУНТОСМЕШИВАНИЯ**

**Актуальность темы исследования.** Большинство строительных площадок в Украине имеют грунтовые условия, сложенные слабыми грунтами. Постоянное стремление к экономии инженерных решений требует использования новых конструктивных решений при строительстве на слабых грунтах.

**Постановка проблемы.** В последнее время популярность приобретает новый способ закрепления основания фундамента с помощью технологии грунтоцементования. В процессе бурения происходит разрушение природной структуры грунта и перемешивания с цементным раствором. В результате твердения смеси образуется твердый грунтоцементный элемент.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Ранее выполнялись в лабораторных условиях исследования прочности грунтоцементных вертикальных элементов в зависимости от содержания цемента, соотношения «грунт-цемент», водно-цементного соотношения в смеси, свойств глинисто-цементных добавок. Для предварительной оценки эффективности закрепления фундамента с использованием технологии грунтоцементования было выполнено численное моделирование.

**Выделение неисследованных частей общей проблемы.** Использование слабых грунтов в качестве основания фундаментов зданий и сооружений должно рассматриваться с учетом возможного разрушения их структуры и развития неравномерных деформаций.

**Постановка задачи.** Выполнить оценку эффективности закрепления фундаментов здания на примере реальной строительной площадки.

**Изложение основного материала.** На практике закрепление основания выполнялось на строительной площадке в г. Киеве. В статье представлены опытные данные о закреплении слабого грунта основания фундаментов. Закрепление основания выполнялось вертикальными грунтоцементными элементами с использованием технологии грунтоцементования.

**Выводы в соответствии со статьей.** При назначении конструктивных решений при строительстве на слабых грунтах необходимо глубоко изучать свойства грунтов с учетом их изменений в перспективе и в результате возможного закрепления, а также контролировать эффективность предпринимаемых мер с помощью мониторинга. Применение технологии фиксации основания на экспериментальной площадке позволило снизить стоимость фундаментных конструкций до 20 %.

**Ключевые слова:** слабое основание; грунтоцемент; технология грунтоцементования; закрепление основания; мониторинг.

Рис.: 6. Табл.: 1. Библ.: 7.

**Kornienko Mykola** – PhD in Technical Science, Professor, Professor of Bases and Foundations Department, Kyiv National University of Construction Architecture (31 Povitroflotsky Av., 03037 Kyiv, Ukraine).

**Корнієнко Микола Васильович** – кандидат технічних наук, професор, професор кафедри основ і фундаментів, Київський національний університет будівництва і архітектури (просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна).

**Корниенко Николай Васильевич** – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры оснований и фундаментов, Киевский национальный университет строительства и архитектуры (просп. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037 Украина).

E-mail: kornienko@gmail.com

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55340416500>

**Zhuk Veronika** – PhD in Technical Science, Assistant Professor, Docent of Bases and Foundations Department, Kyiv National University of Construction Architecture (31 Povitroflotsky Av., 03037 Kyiv, Ukraine).

**Жук Вероника Володимирівна** – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри основ і фундаментів, Київський національний університет будівництва і архітектури (просп. Повітрофлотський, 31, м. Київ, 03037, Україна).

**Жук Вероника Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры оснований и фундаментов, Киевский национальный университет строительства и архитектуры (просп. Воздухофлотский, 31, г. Киев, 03037 Украина).

E-mail: vezhuk@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1114-3192>

**Abed Samar** – PhD in Technical Science.

**Абед Самар Фарис** – кандидат технічних наук.

**Абед Самар Фарис** – кандидат технических наук.

E-mail: samar\_fg2013@yahoo.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2297-9427>

**Chegodayev Igor** – Chief Designer of ZIM Capital Group (7 Okhtyrsky lane, Kyiv, Ukraine).

**Чегодаєв Ігор Сергійович** – головний конструктор ZIM Capital Group (пров. Охтирський, 7, м. Київ, Україна).

**Чегодаев Игорь Сергеевич** – главный конструктор ZIM Capital Group (пер. Охтырский, 7, г. Киев, Украина).

E-mail: chegodayevx@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*

*№ 2 (12)*

Відповідальний за випуск  
Коректор  
Комп'ютерна верстка і макетування

О. І. Пилипенко  
О. С. Смелова  
Т. М. Колот

Підписано до друку 05.06.2018. Формат 60x84/8. Друк різнографія.  
Ум. друк. арк. – 34,6. Тираж 100 пр. Замовлення № 426/18.

---

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.