

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ТЕХНОЛОГІЇ
ТА
ІНЖИНІРИНГ

№ 1(18), 2024

DOI:10.30857/2786-5371.2024.1

Наукове фахове видання

Періодичність виходу: 6 разів на рік

Дата заснування: грудень 1999 р.

Київ 2024

Засновником видання «Технології та інжиніринг» є

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ДИЗАЙНУ

Науковий фаховий журнал є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

№ 1(18), 2024

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації: серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи: ДК № 993 від 24.07.2002 р.

Журнал входить до переліку наукових фахових видань України.

Наказ МОН України від 29.06.2021 №735 (додаток 3). Категорія Б. Технічні науки. Спеціальності: 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print

ISSN 2786-538X online

Журнал зареєстровано в Міжнародному центрі періодичних видань (ISSN International Centre, Париж, Франція)

Журнал реферується та індексується у наступних міжнародних базах даних: Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Засновник і видавець:

Київський національний університет технологій та дизайну
Україна, 01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2

Головний редактор:

Панасюк І.В., д.т.н., професор

Заступник

головного редактора:

Злотенко Б. М., д.т.н., професор

**Відповідальний
секретар:**

Кривонос О. О.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»: Інформаційні технології, електроніка, механічна та електрична інженерія. Матеріалознавство індустрії моди, технологій виробництва текстилю, одягу та взуття. Хімічні та біофармацевтичні технології.

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

01011, м. Київ, вул. Мала Шияновська, 2, корп. 1, к. 1-347

тел./факс: +38 (044) 256-21-39

e-mail: vistnuk@knu.edu.ua; <http://vistnyk.knu.edu.ua/>

Рекомендовано до друку Вченою радою Київського національного університету технологій та дизайну, протокол № 7 від 28.02.2024 р.

Матеріали друкуються мовою оригіналу. Відповідальність за переклад, достовірність фактів, цитат, власних імен, географічних назв, назв підприємств, організацій, установ та іншої інформації несуть автори статей. Передруки та переклади статей дозволяються лише за згодою автора (-ів) та редакції.

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Issue 1(18), 2024

DOI:10.30857/2786-5371.2024.1

Scientific Specialized Edition

Issued: 6 times a year

Founded: December, 1999

Kyiv 2024

The owner of «Technologies and Engineering» is

KYIV NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGIES AND DESIGN

This Scientific Specialized Journal is the successor of the edition "Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design", which in turn was the legal successor of the edition «Proceedings of Higher educational establishments. Technology of the light industry», which was published by Kiev Technological Institute of Light Industry from March, 1958 (USSR).

№ 1(18), 2024

The state registration of print media is KB № 24822-14762 ИП, originating date 19.04.2021

License for publishing activity is ДК №993, originating date 24.07.2002

The journal is listed & reregistered in Higher Attestation Commission of Ukraine: №735 dated 29.06.2021 “Technologies and Engineering” in the list of professional publications: cat. B, technical specialties – 122, 131, 133, 151, 161, 132, 182, 141, 144, 171 (from 2018, 2020).

ISSN 2786-5371 print
ISSN 2786-538X online

The journal is registered in ISSN International Centre, Paris.

The journal is abstracted and indexed by Ulrich's Periodicals Directory, EBSCOhost, WorldCat, Index Copernicus, Research Bible, SJIF, PBN, JIF, OAJI, InfoBase Index, ISI, UIF, CiteFactor, Google Scholar, Crossref

Owner and Publisher:

Kyiv National University of Technologies and Design
Ukraine, 01011, Kyiv, 2, Mala Shyianovska Str.

Editor-in- Chief:

Igor V. Panasiuk - Dr., professor

Deputy Editor:

Borys M. Zlotenko - Dr., professor

Executive secretary:

Olena O. Kryvonos

Scientific fields: Information technologies, electronics, mechanical and electrical engineering. Material science in the textile, clothing and footwear manufacturing industries. Chemical and biopharmaceutical technologies.

The journal is aimed at a wide range of researchers, professors, students, and graduate students and to bring the results of scientific research carried out under a variety of intellectual traditions and organizations of procedures to the attention of a specialized readership.

EDITORIAL OFFICE:

01011, Ukraine, Kyiv, 2, Mala Shyianovska Str., office 1-347

Tel./fax: +38 (044) 256-21-39

e-mail: vistnuk@knuvd.edu.ua; <http://vistnyk.knuvd.edu.ua/>

Recommendations from Science Council of Kyiv National University of Technologies and Design, Protocol № 7, originating date 28.02.2024.

Articles are published in the original language. The authors are responsible for the translation, authenticity of facts, quotations, proper names, geographic names, names of enterprises and other information.

The Editorial Office's and author's consent is needed prior to republishing or translating the articles.

**ВІДОМОСТІ ПРО ЧЛЕНІВ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ
наукового фахового журналу
«ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ»
"TECHNOLOGIES AND ENGINEERING"**

Панасюк Ігор Васильович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *головний редактор* (ORCID: 0000-0001-6671-4266).

Злотенко Борис Миколайович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник головного редактора* (ORCID: 0000-0002-0870-8535).

**СЕКЦІЯ: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА,
МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ**

Шведчикова Ірина Олексіївна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*. ORCID: 0000-0003-3005-7385.

Стаценко Володимир Володимирович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*. ORCID: 0000-0002-3932-792X.

Білоус Інна Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна. ORCID: 0000-0002-6640-103x.

Денисюк Сергій Петрович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна. ORCID: 0000-0002-2134-254X.

Жуйков Валерій Якович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна. ORCID: 0000-0002-3338-2426.

Міліх Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Україна. ORCID: 0000-0002-6176-3103.

Осипенко Володимир Васильович – доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна, 0000-0002-1077-1461.

Суходуб Ірина Олегівна – кандидат технічних наук, доцент, доцент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». ORCID: 0000-0002-5895-1306.

Чорний Олексій Петрович – доктор технічних наук, професор, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Україна. ORCID: 0000-0001-8270-3284.

Шавьолкін Олександр Олексійович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0003-3914-0812.

Andrzej Borusiewicz – D.Sc., Associate Professor, International University of Applied Sciences in Lomza, Poland, ORCID: 0000-0002-1407-7530.

Jasim Mohmed – Docent, PhD, Al-Furat Al-Awsat Technical University – Al-Musssaib Technical college, Kufa, Iraq. ORCID: 0000-0002-2983-416X.

Juraj Gerlici – Prof., Dr. Ing., University of Žilina, Slovak Republic. ORCID: 0000-0003-3928-0567.

Kateryna Kravchenko – PhD, University of Žilina, Slovak Republic. ORCID: 0000-0002-3775-6288.

Kay Berkling – Prof. Ph.D., Duale Hochschule Baden-Württemberg (DHBW), Mosbach, Germany. ORCID: 0000-0003-1186-5678.

Mirosław Skibniewski – Prof., Ph.D., Dr.h.c., Honor. Prof., Department of Civil & Environmental Engineering A. James Clark School of Engineering University of Maryland, College Park, USA, ORCID: 0000-0002-7102-753X.

**СЕКЦІЯ: МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ**

Галавська Людмила Євгеніївна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*. ORCID: 0000-0002-6994-6641.

Арабулі Світлана Іванівна – кандидат технічних наук, доцент, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*. ORCID 0000-0003-1049-8255 -

Гараніна Ольга Олександрівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-4715-3851.

Кизимчук Олена Павлівна – доктор технічних наук, професор, Дрезденський технічний університет, Німеччина. ORCID: 0000-0002-8874-8931.

Очеретна Лариса – PhD, доцент, Ліберецький технічний університет, Чеська республіка. ORCID: 0000-0003-4296-410X.

Первая Наталія Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-5086-3926.

Редько Яна Володимирівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0001-7284-6898.

Славінська Алла Людвигівна – доктор технічних наук, професор, Хмельницький національний університет, Україна. ORCID: 0000-0003-0663-9422.

Хімичева Анна Іванівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-3737-7341.

СЕКЦІЯ: ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Плаван Вікторія Петрівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *відповідальний редактор секції*. ORCID: 0000-0001-9559-8962.

Мокроусова Олена Романівна – доктор технічних наук, професор, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна – *заступник відповідального редактора секції*. ORCID: 0000-0003-1943-8048.

Андресва Ольга Адіславівна – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0001-8374-2306.

Бессарабов Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0003-0637-1729.

Іщенко Олена Володимирівна – доктор технічних наук, доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, ORCID: 0000-0002-9510-6005.

Кузьмінський Євген Васильович – доктор хімічних наук, професор, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна. ORCID: 0000-0002-5632-8297.

Левицький Володимир Євстахович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна. ORCID: 0000-0003-1323-1943.

Савченко Богдан Михайлович – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-8636-5734.

Скорохода Володимир Йосипович – доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка», Україна. ORCID: 0000-0002-2352-5964.

Страшний Владислав Володимирович – доктор фармацевтичних наук, професор, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0002-9188-1821.

Хоменко Володимир Григорович – доктор технічних наук, доцент, Лауреат Національної премії України імені Бориса Патона, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна. ORCID: 0000-0003-0013-8010.

Valeika Virgilijus – professor, PhD, Department of Physical and Inorganic Chemistry, Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania. ORCID: 0000-0003-4974-7626.

ЗМІСТ

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ

1. **Вараніцький Д. В., Розколодько О. О.,
Люта М. В., Захарова М. В., Хотунов В. І.**
Аналіз механізмів захисту даних в хмарних середовищах 9
2. **Гавран В. Б., Оринчак М. Р.**
Використання комп'ютерного зору та машинного навчання для
прикладної інженерії: аналіз та розпізнавання даних 17
3. **Дешко В. І., Білоус І. Ю., Гурєєв М. В.**
Вентиляція як складова енергетичного динамічного балансу в
будівлях 25
4. **Дешко В. І., Голубенко О. О.**
Вплив використання розкладу занять для програмування термостатів
на енергоспоживання будівлі шкільного закладу 40
5. **Кармаліта А. К., Пундик С. І.**
Способи контролю положення плоских деталей взуття за асиметрією
властивостей поверхонь 50
6. **Крюкова О. А., Павлій О. В., Глабець С. М., Кухта І. Я.**
Застосування ультразвукового та радіографічного методів
неруйнівного контролю для оцінки якості металевих виробів
адитивного виробництва 60
7. **Лазебний В. С., Омелянець О. О.**
Електромагнітна сумісність безпроводових мереж IEEE 802.11ac 67
8. **Новак Д. С., Сукало М. Л.**
Розробка програмного забезпечення для кількісної оцінки популяції
мікродоростей *Chlorella vulgaris* 77

ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

9. **Заєць А. В., Андрєєва О. А.**
Спектроскопічні дослідження хімічної природи та взаємодії з
колагеном модифікованих жирувальних матеріалів 85
10. **Кислова О. В., Патлун Д. В.**
Перспективи застосування неорганічних сполук для очищення
стічних вод гальванічних виробництв 98
11. **Юн Ц., Баклан Д. В., Миронюк О. В.**
Корозійна стійкість полімер-кремнезем-кальцитових текстурованих
поверхонь 107

TABLE OF CONTENTS

INFORMATION TECHNOLOGIES, ELECTRONICS, MECHANICAL AND ELECTRICAL ENGINEERING

1. **Varanitskyi D. V., Rozkolodko O. O., Liuta M. V.,
Zakharova M. V., Khotunov V. I.**
Analysis of data protection mechanisms in cloud environments 9
2. **Havran V. B., Orynychak M. R.**
Utilization of computer vision and machine learning for applied
engineering: data analysis and recognition 17
3. **Deshko V. I., Bilous I. Y., Hurieiev M. V.**
Ventilation as a component of the energy dynamic balance in building 25
4. **Deshko V. I., Holubenko O. O.**
The impact of using a class schedule for programming thermostats on the
energy consumption of a school building 40
5. **Karmalita A. K., Pundyk S. I.**
Methods of controlling the position of flat parts of shoe by asymmetry of
the surface properties 50
6. **Kryukova O. A., Pavliy O. V., Hlabets S. M., Kukhta I. Ya.**
Application of ultrasound and radiographic methods of non-destructive
control for quality assessment of metal products of additive production 60
7. **Lazebnyi V. S., Omelianets O. O.**
Electromagnetic compatibility of wireless networks IEEE 802.11ac 67
8. **Novak D. S., Sukalo M. L.**
Quantitative assessment software development for the *Chlorella vulgaris*
microalgae population 77

CHEMICAL AND BIOPHARMACEUTICAL TECHNOLOGIES

9. **Zaiets A. V., Andreyeva O. A.**
Spectroscopic studies of the chemical nature and interaction with collagen
of modified fatliquor materials 85
10. **Kyslova O. V., Patlun D. V.**
Perspectives of inorganic compounds application for electroplating
industry wastewater treatment 98
11. **Yong Z., Baklan D. V., Myronyuk O. V.**
Corrosion resistance of polymer-silica-calcite textured surfaces 107

УДК 004.056

¹ВАРАНІЦЬКИЙ Д. В., ¹РОЗКОЛОДЬКО О. О.,
²ЛЮГА М. В., ²ЗАХАРОВА М. В., ²ХОТУНОВ В. І.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Черкаський державний бізнес-коледж, Україна

АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ ЗАХИСТУ ДАНИХ В ХМАРНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Мета. Підвищення безпеки хмарних технологій. Проведення аналізу механізмів захисту інформації в хмарних середовищах, виділення їх особливостей. Пошук найбільш ефективного механізму захисту інформації, яка зберігається в хмарних середовищах. Покращення безпеки хмарних технологій дозволить користуватись такими технологіями більшій кількості людей та організацій, для яких безпека є дуже важливою. В зв'язку зі збільшенням кількості компаній та установ, що використовують хмарні середовища, для збереження та обміну внутрішніми даними виникає необхідність у покращенні рівня безпеки даної системи.

Методика. В статті розглянуто особливості механізмів захисту даних на хмарних середовищах. Проведено їх аналіз та виділено їх головні властивості та функції. Розглянуто дані механізми та обрано найбільш ефективний.

Результати. Досліджено основні механізми захисту, такі як шифрування, захист даних при передачі, автентифікація та ізоляція користувачів. Виділено особливості цих механізмів. Кожен з цих механізмів має як сильні сторони, так і певні ризики втрати інформації. Для більшого розуміння принципів роботи механізмів захисту даних від загроз, представлена система демонстрації ефективності загроз на певні види даних та механізми протидії загрозам. Описані в роботі механізми захисту демонструють необхідність створення надійної системи безпеки і захисту інформації в хмарних середовищах. Використання хмарних технологій для збереження інформації обов'язково має супроводжуватися постійним вдосконаленням системи захисту, а також використанням найбільш надійного механізму.

Наукова новизна. Представлені механізми захисту можуть стати основою для розробки нових способів захисту інформації в хмарному середовищі, що дозволить користуватися хмарними технологіями більшій кількості людей без ризику втрати даних.

Практична значимість. Відповідно до результатів аналізу визначено існуючі механізми захисту даних в хмарному середовищі, порівняно механізми надання безпеки хмарним технологіям, побудови схеми взаємодії користувача, серверів управління ключами і хмарного сервера.

Ключові слова: хмарна технологія; захист інформації; безпека; механізм; протокол.

Вступ. На сьогоднішній день хмарні технології є важливим засобом збереження даних, яким користується багато компаній, державні організації та просто Інтернет-користувачі. Перевагами хмарних технологій користується велика кількість людей та організацій. Сервери можуть використовуватись як для збереження особистих файлів, так і для робочих даних. Саме тому актуальною темою є забезпечення надійного захисту даних в хмарних середовищах. Покращення безпеки хмарних технологій дозволить користуватись хмарними технологіями більшій кількості людей та організацій, для яких безпека є дуже важливою. В зв'язку зі збільшенням кількості компаній та установ, що використовують хмарні середовища, для збереження та обміну внутрішніми даними виникає необхідність у покращенні рівня безпеки даної системи.

Використання хмарних сервісів набуло популярності в таких установах як: провідні технологічні фірми, державні органи управління, медицина, на інші структури. Разом з таким стрімким розвитком хмарних середовищ виникають нові ризики та загрози, що призводять до некоректного функціонування сервісів, появи слабкостей в системі захисту, а також значних матеріальних втрат. Тому, використання хмарних технологій для збереження інформації

обов'язково має супроводжуватися постійним вдосконаленням системи захисту, а також використанням найбільш надійного механізму.

Проблемам захисту даних у сфері хмарних середовищ присвячені роботи Т.Г. Білової, В.О. Ярути, М.Б. Вітра [1]. Проте, якщо взяти до уваги стрімкий розвиток даної технології та рівень інформаційної злочинності в даний час, це питання потребує ефективних шляхів вирішення.

Постановка завдання. Аналіз наукових джерел по тематиці хмарних середовищ показує, що останнім часом проведено багато вдосконалень відносно безпеки зберігання даних. З кожним роком розробляються нові особливості хмарних технологій, покращується доступ, збільшується доступна для використання потужність, об'єми пам'яті та швидкість обробки інформації. Проте, ще й досі існує ряд невирішених раніше питань надійного захисту інформації хмарних серверів. В більшій мірі ці питання пов'язані з несанкціонованим доступом і витоком даних із хмарної мережі.

Результати дослідження. Відповідно вже ставши традиційними представленням, ключовими інструментальними компонентами в сучасному інформаційному середовищі є комп'ютер та мережа Інтернет, використання яких в повсякденній діяльності значно покращує життя суспільства.

Основним вектором еволюції сучасних інформаційних і комунікативних технологій є розвиток хмарних технологій. Хмарні технології – це модель надання зручного мережевого доступу до загального пула конфігурованих обчислювальних ресурсів, які можуть бути швидко представлені і звільнені з мінімальними зусиллями з управління і необхідності взаємодії з провайдером.

Існує три моделі «хмар»: програмне забезпечення, як послуга (SaaS, Software as a Service), платформа, як послуга (PaaS, Platform as a Service) та інфраструктура як послуга (IaaS, Infrastructure as a Service) [2].

Хмарні технології забезпечують швидкий доступ до різноманітних ІТ-послуг і скорочують затрати до рівня, відповідного фактичному використанню ресурсів. Перехід на хмарну інфраструктуру дозволяє організації швидше запускати проекти і використовувати нові можливості, збільшуючи виручку та оперативно реагуючи на зміну ринку. Перевагами хмарних сервісів є доступність, мобільність, економічність, гнучкість, висока технологічність. Завдяки цим перевагам, хмарними технологіями користується велика кількість середніх, великих компаній та навіть державні організації.

Для спільного використання ресурсів та віддаленого доступу до даних на території України існує велика кількість хмарних сервісів, серед них "Диск Google", "OneDrive", "Dropbox", "Box", "Mega", "SugarSync" та багато інших [3].

Для початку роботи з цими сервісами необхідно зареєструватись на їх сервері. Після реєстрації користувачі отримують не тільки сервіс зберігання даних з обмеженим, хоча, як правило, достатнім об'ємом дискового простору, але і відповідні додаткові хмарні сервіси.

Сервіси зберігання даних початково мали лише можливості для завантаження на сервер, зберігання та завантаження з серверу. Але з часом хмарні сервіси отримали додатковий функціонал, зв'язаний з інтелектуальною обробкою вмісту завантажених файлів.

Наприклад, можливості хмарного сервісу збереження даних "Диск Google", який надає віртуальний простір для зберігання даних, розширені за рахунок офісного пакету "Документи Google". Сервіс "Диск Google" має текстовий і табличний редактори, редактор презентацій, засоби для роботи з малюнками та графічними схемами, а також додаток для створення тестів, результати яких, як і інші файли з цього офісного пакету, будуть зберігатись в сервісі зберігання даних "Диск Google".

Вбудований пакет програм має більше обмежень, порівняно з настільними версіями програм, але має зручний для використання інтерфейс та може надавати допуск до редагування інформації відразу декільком користувачам, що покращує роботу. Також сервіс дозволяє відслідковувати зміни файлів, завдяки чому можливо вести статистику змін файлів.

Перевагами хмарних технологій користується велика кількість людей та організацій. Сервери можуть використовуватись як для збереження особистих файлів, так і для робочих даних.

Інформаційно-технічний прогрес торкнувся всіх сфер діяльності, приніс багато позитивних плодів. І, звичайно, приніс деякий фронт ризиків, пов'язаний із захистом інформації.

Для більшого розуміння принципів роботи механізмів захисту даних від загроз, представлена система, в якій демонструються механізми захисту на кожен можливий загрозу.

Дані ($x_1, x_2, x_3, x_4 \dots x_n$); механізми ($m_1, m_2, m_3, m_4 \dots m_i$); множини ($z_1, z_2, z_3, z_4 \dots z_k$),

де x_n – це типи даних, що знаходяться чи зберігаються на хмарному сервері;

m_i – механізми захисту інформації від загроз;

z_k – види загроз, які можуть отримати доступ, чи якимось чином пошкодити дані на сервері.

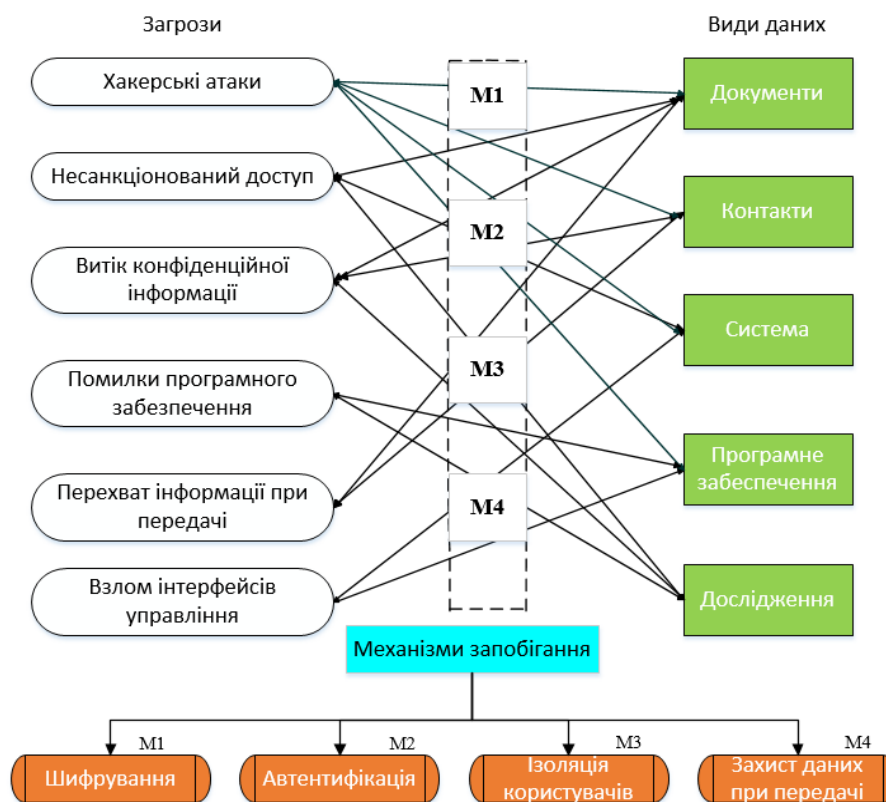


Рис. 1. Система демонстрації ефективності загроз на певні види даних та механізми протидії загрозам

До вище наведених загроз протидією є такі методи запобігання:

Метод шифрування буде ефективним при таких загрозах як: перехват інформації при передачі, частково при хакерських атаках та взломі інтерфейсів управління.

Метод автентифікації буде ефективним в запобіганні загрозам несанкціонованого доступу та частково при хакерських атаках.

Метод ізоляції користувачів допоможе зберегти або мінімізувати втрати даних при хакерських атаках, витоку конфіденційної інформації, помилках програмного забезпечення.

Метод захисту даних при передачі продемонструє свої переваги при перехваті інформації, при передачі, взломі інтерфейсів управління та частково при хакерських атаках.

Організаційно-технічними методами забезпечення інформаційної безпеки є: створення і вдосконалення системи забезпечення інформаційної безпеки, розробка, використання і вдосконалення засобів захисту інформації, створення систем і засобів запобігання несанкціонованого доступу до оброблюваної інформації, а також виявлення технічних пристроїв та програм, які представляють небезпеку для ефективного функціонування ІТ-систем [4].

Постійно зростаючі витрати на створення та експлуатацію інформаційних систем, суттєве зростання збитку від інформаційних ризиків змушують керівників шукати нові шляхи підвищення ефективності інформаційної сфери підприємств та організацій.

Найбільш ефективними механізмами безпеки хмарними технологіям є:

1. Шифрування. Один з найбільш ефективних способів збереження даних. Провайдер повинен шифрувати інформацію клієнта, яка зберігається в центрі обробки даних (ЦОД), а також в випадку відсутності необхідності – видаляти.

Зберігання ключів на хмарному сервері недоцільно, так як кожен, хто має доступ до хмарних серверів або шаблонів, міг би отримати доступ до ключа, а відтоді і до розшифрованих даних. Набір пароля при запуску системи утруднений у зв'язку з відсутністю справжньої консолі. Фізичне введення ключа замінюється запитом, який хмарний сервер відправляє зовнішньому джерелу – серверу керування ключами (Key Management Server) [5].

Вирішальним фактором для забезпечення безпеки такого рішення є роздільна експлуатація хмарного серверу та серверу управління ключами (рис. 2).

Якщо обидва розміщені у одного провайдера хмарних сервісів, то вся інформація знову виявляється зібраною в одному місці. Актуальною альтернативою є установка серверу KMS в локальному центрі обміну даних(ЦОД), або в якості зовнішньої послуги в іншого сервіс-провайдера.

Якщо обидва розміщені у одного провайдера хмарних сервісів, то вся інформація знову виявляється зібраною в одному місці. Актуальною альтернативою є установка серверу KMS в локальному центрі обміну даних(ЦОД), або в якості зовнішньої послуги в іншого сервіс-провайдера.

2. Захист даних при передачі. Для безпечної обробки даних, обов'язковою умовою є їх шифрована передача. В цілях захисту даних в публічній хмарі використовується тунель віртуальної приватної мережі (VPN), яка зв'язує клієнта і сервер для отримання публічних хмарних послуг.

VPN-тунель сприяє безпечним з'єднанням і дозволяє використовувати єдине ім'я і пароль для доступу до різних хмарних ресурсів. Як засіб передачі даних в публічних хмарах, VPN - з'єднання використовує загальнодоступні ресурси, такі як Інтернет. Процес заснований на режимах доступу з шифруванням за допомогою двох ключів на базі протоколу Secure Sockets Layer (SSL).

Більшість протоколів SSL і VPN в якості опції підтримують використання цифрових сертифікатів для автентифікації, за допомогою яких перевіряється ідентифікаційна інформація іншої сторони, причому ще до початку передачі даних. Такі цифрові сертифікати можуть зберігатися на віртуальних жорстких дисках в зашифрованому вигляді і використовуються вони тільки після того, як сервер управління ключами перевірить ідентифікаційну інформацію і цілісність системи [7]. Отже, такий ланцюжок дозволить передавати дані тільки тим хмарним серверам, які пройшли попередню перевірку.

Зашифровані дані при передачі повинні бути доступні тільки після автентифікації. Дані не вийде прочитати або зробити зміни в них, навіть у випадку доступу через ненадійні вузли. Такі технології досить відомі, алгоритми і надійні протоколи AES, TLS, IPsec давно використовуються провайдерами.

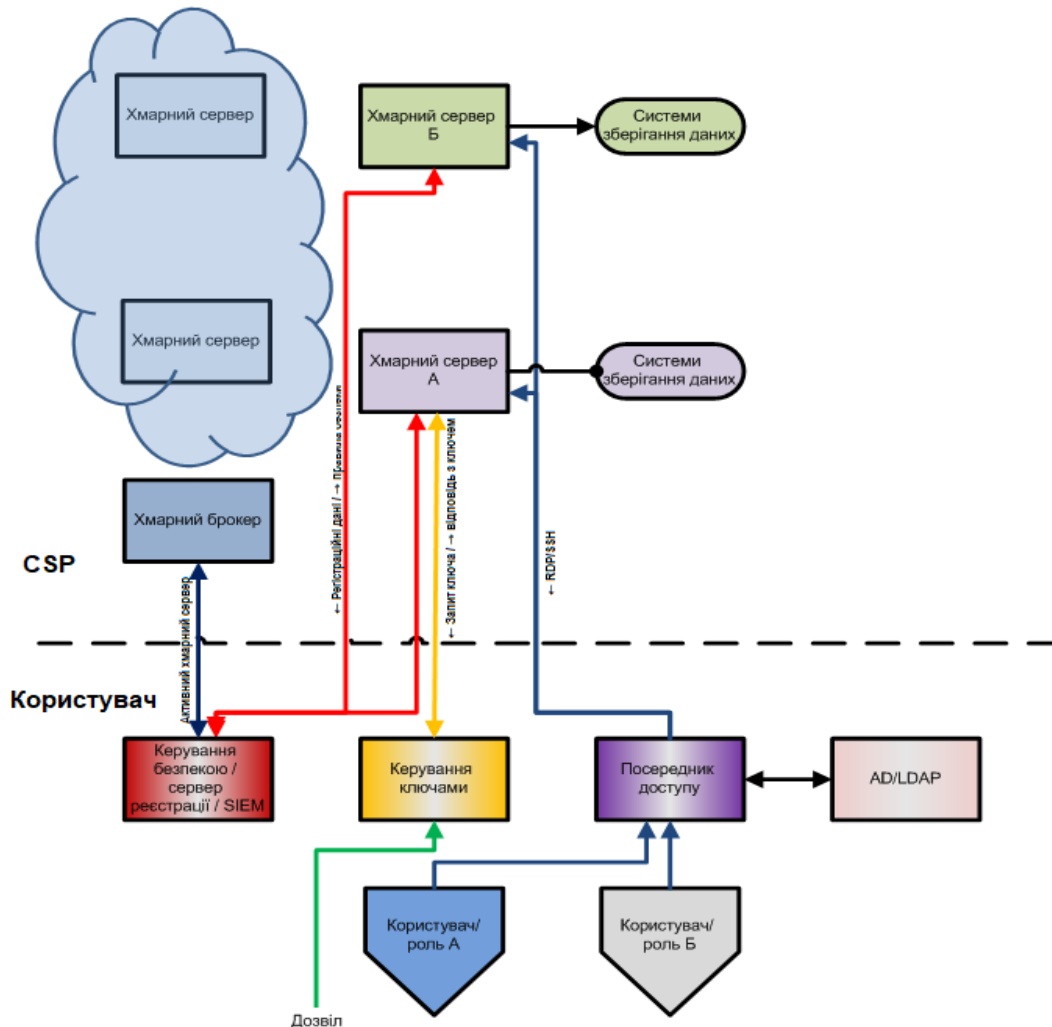


Рис. 2. Схема взаємодії користувача, серверів управління ключами і хмарного сервера

3. Автентифікація. Захист паролем. Для забезпечення більш високої надійності, часто використовують токени та сертифікати. Найбільш простий та достатньо надійний метод автентифікації – технологія одноразових паролів [8]. Такі паролі можуть генеруватися або спеціальними програмами, або додатковими пристроями, або сервісами с пересилкою смс-повідомлень користувачу.

Основна відмінність хмарної інфраструктури полягає у великих масштабах та широкого географічного розподілу. На перший план виходить використання для отримання одноразових паролів на мобільні пристрої, які сьогодні є практично у кожного. У найпростішому випадку одноразовий пароль буде створений спеціальним сервером автентифікації і висланий в SMS на мобільний телефон користувача після введення правильного статичного пароля на сторінку доступу до хмарного сервісу. Для прозорості взаємодії провайдера з системою ідентифікації при авторизації, також рекомендується

використовувати протокол LDAP (Lightweight Directory Access Protocol) і мову програмування SAML (Security Assertion Markup Language).

4. Ізоляція користувачів. Використання індивідуальної віртуальної машини та віртуальної мережі. Віртуальні мережі повинні бути розвернуті з застосуванням таких технологій, як VPN, VLAN та VPLS. Часто провайдери ізолюють дані користувачів одне від одного за рахунок зміни коду в єдиному програмному середовищі. Цей підхід має ризик, зв'язаний з небезпекою знайти вразливість в нестандартному коді, яка дасть доступ до даних [9]. В випадку можливої помилки в коді, користувач може отримати доступ до інформації іншого користувача.

Хмарні технології представляють значний прогрес в сфері розвитку інформаційних технологій та сервісів. В даній технології безпека грає найважливішу роль. Не дивлячись на всі складності в області безпеки, переваги таких технологій переважають можливі ризики, тому хмарні технології будуть широко затребувані на ринку інформаційних технологій [10].

Висновки. В результаті проведеного аналізу були виявлені найбільш ефективні механізми захисту інформації на хмарних сервісах. Кожен з цих механізмів має як сильні сторони, так і певні ризики втрати інформації. Описані в роботі механізми захисту демонструють необхідність створення надійної системи безпеки і захисту інформації в хмарних середовищах. Відповідно до результатів аналізу, визначено засоби нейтралізації загроз щодо забезпечення захисту даних на хмарному середовищі.

References

Література

1. Bilova, T. G., Yaruta, V. O. (2015). Metody pidvyshchennia bezpeky obrobky danykh v khmarnykh obchyslenniakh [Methods for improving the security of data processing in cloud computing]. *Zbirnyk naukovykh prats Kharkivskoho natsionalnoho universytetu Povitrianykh Syl = Collection of scientific works of Kharkiv National University of Air Forces*, № 4 (45), P. 71–73 [in Ukrainian].
1. Білова Т. Г., Ярута В. О. Методи підвищення безпеки обробки даних в хмарних обчисленнях. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. 2015. № 4 (45). С. 71–73.
2. Ilkevich, N. S. (2021). Khmarni tekhnologii v osviti: navchalno-metodychnyi posibnyk dlia studentiv fizyko-matematychnoho fakultetu [Cloud technologies in education: educational and methodological manual for students of the Faculty of Physics and Mathematics]. Zhytomyr: ZhDU publishing house. 88 p. [in Ukrainian].
2. Ількевич Н. С. Хмарні технології в освіті: навчально-методичний посібник для студентів фізико-математичного факультету. Житомир: вид-во ЖДУ, 2021. 88 с.
3. Chernyak, L. (2011). Intehratsiia – osnova khmary [Integration – the basis of the cloud]. *Vidkryti systemy. SUBD = Open systems. DBMS*. September 16, 2011 [in Ukrainian].
3. Черняк Л. Інтеграція – основа хмари. *Відкриті системи*. СУБД. 16 вересня 2011.
4. Kotyashichev, I. A., Birilova, E. A. (2015). Zakhyst informatsii v "Khmarnykh tekhnolohiiakh" yak predmet natsionalnoi bezpeky [Protection of information in "Cloud technologies" as a subject of national security]. *Molodiy scientist*, No. 6.4, P. 30–34 [in Ukrainian].
4. Котяшичев І. А., Бирилова Е. А. Захист інформації в "Хмарних технологіях" як предмет національної безпеки. *Молодий вчений*. 2015. № 6.4. С. 30–34.
5. Mell, P., Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology. 286 c.
5. Mell P., Grance T. The NIST Definition of Cloud Computing. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2011. 286 c.
6. Kuznetsov, D., Zakharova, M., Liuta, M. (2021). Criteria for evaluation of efficiency of remote administration software. *Molodiy scientist*, No. 1 (89), P. 129–133,
6. Kuznetsov D., Zakharova M., Liuta M. Criteria for evaluation of efficiency of remote administration software. *Молодий вчений*.

<https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-1-89-27>.

7. Tereykovskii, I. A., Korchenko, O. G., Pogorelov, V. V. (2022). Metody rozpoznavannia kiberatak: rozpoznavannia komp'uternykh virusiv: navchalnyi posibnyk dlia zdobuvachiv stupenia bakalavr za osvithoiu prohramoiu "Systemne prohramuvannia ta spetsializovani komp'uterni systemy" spetsialnosti 123 Komp'uterna inzheneriia [Methods of recognizing cyber attacks: recognition of computer viruses: study guide for bachelor's degree holders in the educational program "System programming and specialized computer systems" specialty 123 Computer engineering]. Kyiv: KPI named after Igor Sikorskyi. 127 p. [in Ukrainian].

8. Danyk, Yu. G., Vorobienko, P. P., Chernega, V. M. (2019). Fundamentals of cyber security and cyber defense: a textbook]. Second edition, revision. and additional. Odesa: ONAZ named after O. S. Popova. 320 p. [in Ukrainian].

9. Nikitchenko, V., Zakharova, M., Lyuta, M. (2019). Analiz suchasnykh system keruvannia proektamy [Analysis of modern project management systems]. ЛОГОΣ. Mystetstvo naukovoï dumky = ЛОГОΣ. The art of scientific thought, No. 3, P. 95–97. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/issue/view/14/15> [in Ukrainian].

10. Polishchuk, D. V., Zakharova, M. V., Lyuta, M. V. (2021). Model otsinky ryzykiv informatsiinoi systemy [Information system risk assessment model]. Suchasni elektromekhanichni ta informatsiini systemy: monohrafiia = Modern electromechanical and information systems: monograph. By general ed. I. V. Panasyuk. Kyiv: KNUTD. P. 101–105 [in Ukrainian].

2021. № 1 (89). P. 129–133. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2021-1-89-27>.

7. Терейковський І. А., Корченко О. Г., Погорелов В. В. Методи розпізнавання кібератак: розпізнавання комп'ютерних вірусів: навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавр за освітньою програмою "Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи" спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 127 с.

8. Даник Ю. Г., Воробієнко П. П., Чернега В. М. Основи кібербезпеки та кібероборони: підручник. Видання друге, перероб. та доп. Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. 320 с.

9. Нікітченко В., Захарова М., Люта М. Аналіз сучасних систем керування проектами. ЛОГОΣ. Мистецтво наукової думки. 2019. № 3. С. 95–97. URL: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/2617-7064/issue/view/14/15>.

10. Поліщук Д. В., Захарова М. В., Люта М. В. Модель оцінки ризиків інформаційної системи. Сучасні електромеханічні та інформаційні системи: монографія. За заг. ред. І. В. Панасюка. Київ: КНУТД, 2021. С. 101–105.

VARANITSKYI DMYTRO

Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

E-mail: dimonstools@gmail.com

LIUTA MAIIA

Head of Software Engineering Department,
Cherkasy State Business College, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0248-0461>

E-mail: maialiuta@gmail.com

ROZKOLODKO OLEKSII

Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine

E-mail: rozkolodko@gmail.com

ZAKHAROVA MARIIA

PhD, Associate Professor of the Department of
Computer Engineering and Information Technology,
Cherkasy State Business College, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-6314-5838>

Scopus Author ID: 57783473500

E-mail: zmaria17mz@gmail.com

HOTUNOV VLADISLAV

PhD, Associate Professor,

Department of Computer Engineering and Information
Technology, Cherkasy State Business College, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-2093-1270>

Scopus Author ID: 57222273671

E-mail: ykhotunov@gmail.com

¹VARANITSKYI D. V., ¹ROZKOLODKO O. O.,
²LIUTA M. V., ²ZAKHAROVA M. V., ²KHOTUNOV V. I.

¹Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

²Cherkasy State Business College, Ukraine

ANALYSIS OF DATA PROTECTION MECHANISMS IN CLOUD ENVIRONMENTS

Purpose: Improving the security of cloud technologies. Analysis of information protection mechanisms in cloud environments and pointing out of their peculiarities. Searching for the most effective mechanism for protecting information, which is stored in cloud environments. Improving the security of cloud technologies will allow more people and organizations, for whom security is very important, to use such technologies. Due to the increase in the number of companies and institutions using cloud environments for the storage and exchange of internal data, there is a need for improved levels of security of this system.

Methodology: The article examines the peculiarities of data protection mechanisms in cloud environments. The analysis is conducted and the main properties and functions are pointed out. These mechanisms are considered and the most effective one is chosen.

Findings: The main mechanisms of protection, such as encryption, data protection during transmission, authentication and isolation of users, are researched. The peculiarities of these mechanisms are pointed out. Each of these mechanisms has strengths and certain risks of information loss. To better understand the principles of data protection mechanisms against dangers the system of demonstration the effectiveness of threats to certain types of data and mechanisms for counteracting dangers is presented. The protection mechanisms demonstrate the need to create a reliable system of security and protection of information in cloud environments. The use of cloud technologies for information storage must be accompanied by regular improvement of the security system, as well as the use of the most reliable mechanism.

Scientific novelty: The presented mechanisms of protection can be the basis for the development of new ways to protect information in the cloud environment. It will allow more people to use cloud technologies without the risk of data loss.

Practical value: According to the results of the analysis, the existing mechanisms for protecting data in the cloud environment are defined; the mechanisms for providing security to cloud technologies, building a scheme for user interaction, key management servers and a cloud server are compared.

Keywords: cloud technology; information protection; security; mechanism; protocol.

УДК 004.2,
004.4

HAVRAN V. B., ORYNCHAK M. R.
Lviv Polytechnic National University, Ukraine

UTILIZATION OF COMPUTER VISION AND MACHINE LEARNING FOR APPLIED ENGINEERING: DATA ANALYSIS AND RECOGNITION

Purpose. The primary purpose of this research article is to develop a ML model for applied engineering for varied actions, such as identifying sunflower seeds from other seed types and adjusting the screw press parameters accordingly for optimal oil extraction. Additionally, it aims to predict noise propagation and implement measures for noise reduction in relevant engineering applications.

Methodology. The research methodology involved analyzing scientific sources, experimental data, modeling, and machine learning. The ML model was trained using the Edge Impulse platform with a dataset of seed images, annotated for focus. After iterative training, validation, and testing, the model was embedded into an Arduino controller for real-time seed identification and automatic screw press operation regulation.

Findings. This article introduces an innovative applied engineering approach aimed at revolutionizing the seed oil extraction process through the automation of screw press operations using Machine Learning (ML) and Computer Vision (CV). Key findings include the successful differentiation between sunflower and pumpkin seeds and precise adjustment of screw press settings based on seed type identification. ML is also utilized to detect an empty seed feeder and halt press operations automatically, preventing equipment damage and ensuring efficiency. These results pave the way for enhanced automation and precision in seed oil extraction processes.

Originality. The application of ML and CV in seed oil extraction and screw press operation, as presented, underscores the transformative potential of these technologies in agricultural processes.

Practical value. Incorporating computer vision and machine learning into applied engineering streamlines processes, reduces errors, and enhances efficiency. This integration optimizes resource utilization, enables real-time decision-making, and boosts productivity across various engineering applications.

Keywords: artificial intelligence; image recognition; Arduino; screw press; seeds; advanced engineering.

Introduction. The dynamic evolving in advanced engineering, particularly within agricultural domains, have sparked innovative approaches leveraging cutting-edge technologies such as Computer Vision (CV) and Machine Learning (ML) to enhance and optimize processes, reshaping the sector. A prime example of this technological fusion is the evolution of conventional seed oil extraction methods, notably through the utilization of screw press technology.

Leveraging Computer Vision (CV) and Machine Learning (ML), the conventional method of seed oil extraction via a screw press involves numerous manual tasks, posing challenges regarding efficiency, time, and error rates. Given the varied characteristics of seeds and their unique extraction needs, manually configuring the screw press settings for each seed type becomes labor-intensive. This not only hampers process speed but also risks yield reduction due to potential inaccuracies. Thus, the creation of an automated system to streamline and optimize this process could have substantial implications for the agricultural sector.

As advanced engineering techniques progress, the integration of these evolment into screw press operations to address existing challenges becomes increasingly relevant and feasible. Utilizing Machine Learning (ML) and Computer Vision (CV) offers a promising solution to automate seed identification and adjust machine parameters accordingly. This integration holds the potential to enhance efficiency, decrease processing times, and boost yield.

Recent studies have begun to explore the potential of incorporating AI, ML and CV in various agricultural practices. The article [1] reviews the application of advanced technologies like computer vision and deep learning in seed testing and identification. It discusses the possible benefits and

limitations of these methods and acknowledges challenges associated with their implementation and suggests optimization strategies for these systems. Article [2] explores the use of computer image analysis and machine learning algorithms, such as deep learning, SVM and random forest, to extract morphological data from seeds and classify species of aquatic plants.

The study [3] presents a computer vision tool named DiSCount (Digital Striga Counter) to automate the quantification of total and germinated Striga seeds. In research [4] authors developed a computer vision system using a regular colour camera under controlled lighting and investigated that the highest accuracy (95%) can be achieved using the GoogleNet algorithm. In research [5] authors utilized computer vision to classify canola varieties, using images captured by a digital camera in natural light. They achieved impressive accuracy rates – up to 98%. This work [6] introduces an affordable and efficient system for measuring seed volume, crucial for seed breeding programs.

In work [7] authors applied four traditional classification algorithms and trained the dataset using a deep learning method, VGG19. The paper [8] reviews how AI is transforming various agricultural activities. Studies [9, 10] aim to create a food detection system based on Arduino to alert users of food spoilage. However, the focus on automating and optimizing the screw press operation specifically, using these technologies remains an under-explored area. This articles [11, 12] seeks to address that gap by presenting a novel technological solution that leverages ML and CV for seed type recognition and automatic parameter adjustment in a screw press operation.

Setting the research task. The primary task of this article resides in leveraging Machine Learning (ML) and Computer Vision (CV) to differentiate sunflower seeds from other seed types efficiently and effectively. The ability of an automated system to accurately identify a particular seed type is integral in determining the optimal settings required for a screw press operation.

To concretize our research path, we outline the following main objectives:

1. Training Machine Learning (ML) algorithms to accurately recognize and differentiate sunflower seeds from other seed types using Computer Vision (CV), focusing on the unique visual aspects of sunflower seeds.
2. Leveraging the seed identification process to automatically optimize the operation of the screw press. This involves determining and adjusting the screw press parameters for optimal oil extraction based on the identified seed type.
3. Utilizing ML to recognize when the seed hopper is empty and automatically pause the operation of the screw press, preventing possible equipment damage and promoting efficient use.

In accomplishing these goals, this article aims to cover the crucial yet under-explored segment of infusing ML and CV into the field of oilseed extraction, bridging the existing gap and providing a robust solution for the identified challenges.

Results. The Edge Impulse platform was leveraged in this study for its versatile and user-friendly features, allowing for seamless development and implementation of machine learning models even with modest hardware. The platform not only provides an effective training environment for the model but also supports the deployment of this model into a real-time system.

A diverse dataset of sunflower and pumpkin seeds in various states (shelled and unshelled) was collected for use in convolutional neural networks (CNNs) and autoencoders. Images were taken under different lighting conditions for better role modelling. Uploaded to Edge Impulse, this dataset facilitates further analysis and generative adversarial networks (GANs) model development, contributing to seed identification technology advancements.

Furthermore, to make the data analysis more efficient and focused, a technique known as bounding box annotation was employed. This involved marking an area of interest – the seed – in each image, which allows the platform to focus exclusively on the defined area during model training.

A convolutional neural network (CNN) comprises convolutional layers for feature extraction, followed by activation functions like ReLU for non-linearity. Pooling layers down-sample feature

maps, while fully connected layers learn high-level features for classification/regression. The output layer produces final predictions. Through training on labeled data, CNNs learn to extract features and make accurate predictions.

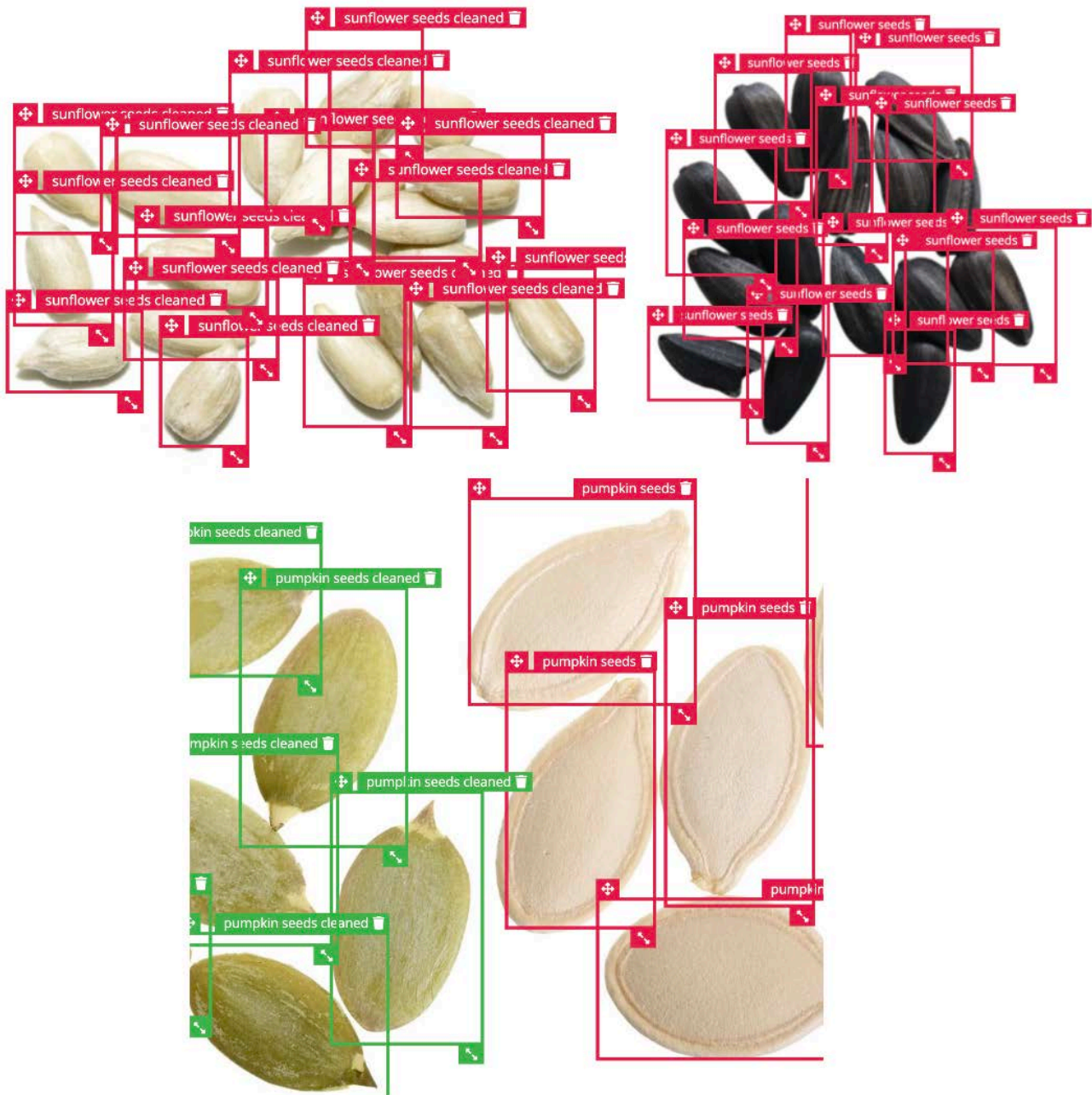


Fig. 1. Seeds type detection

Using annotated images, the system trained the model to distinguish sunflower seeds, pumpkin seeds, and an empty feeder. Through iterative cycles of supervised learning [13], validation [14], and testing [15], the model's accuracy and performance improved. This meticulous training enhances both performance and scientific understanding of feature recognition in machine learning algorithms.

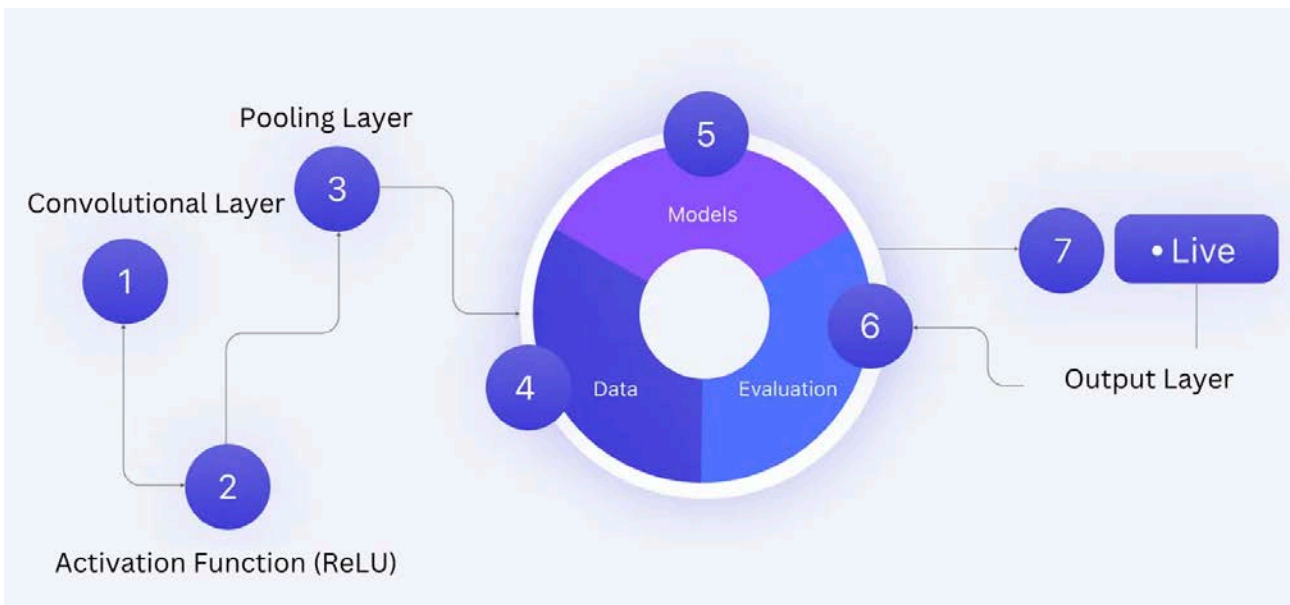


Fig. 2. A convolutional neural network for images analysis

Training set

Data in training set

23 items

Classes

4 (pumpkin seeds, pumpkin seeds cleaned, sunflower seeds, sunflower seeds cleaned)

Generating features...

Feature generation output

Cancel

🗑️ (0)

```
Job started
Fetching info for data items...
Fetching info for data items OK

Scheduling job in cluster...
Container image pulled!
Job started
Creating windows from files...
[ 1/23] Creating windows from files...
[23/23] Creating windows from files...
Creating windows from files OK

Created 24 windows with 330 objects: pumpkin seeds: 113, pumpkin seeds cleaned: 49, sunflower
seeds: 111, sunflower seeds cleaned: 57
```

Fig. 3. Training process

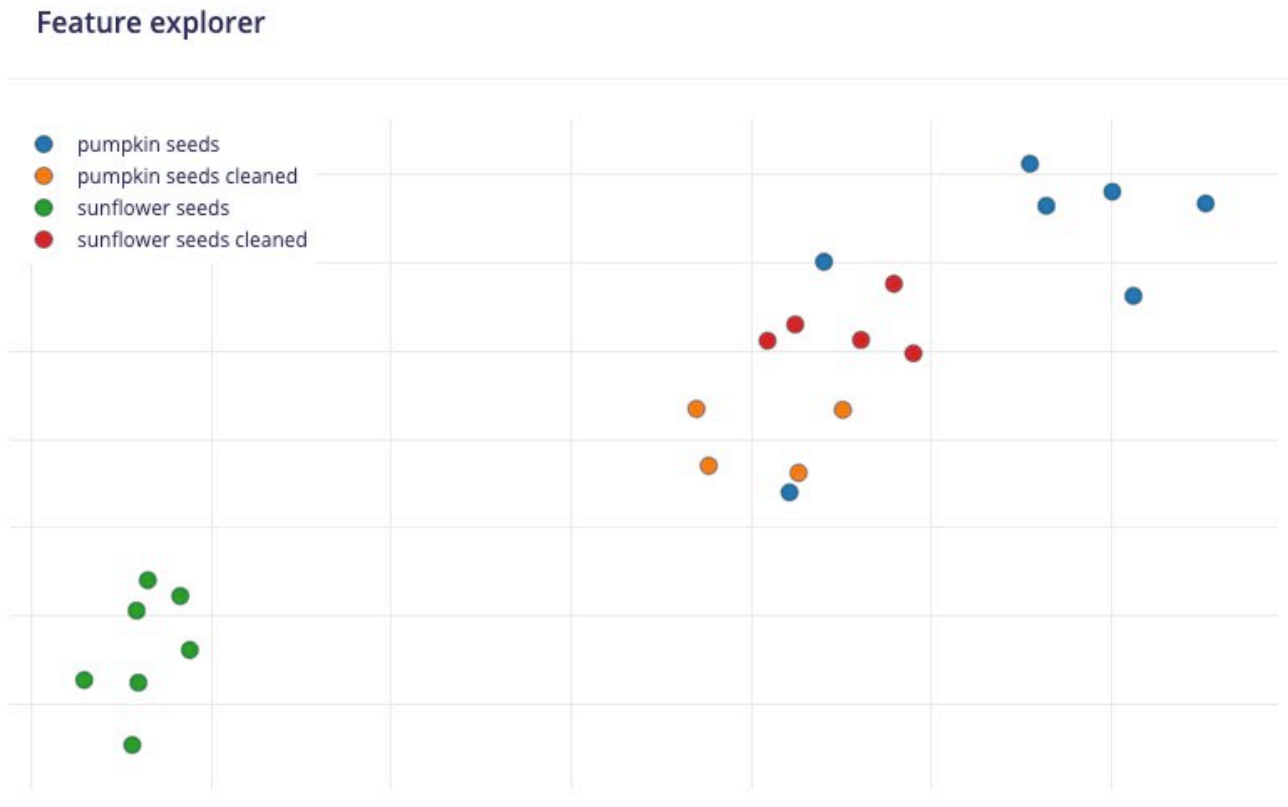


Fig. 4. Plot of all the data in dataset

In a live operational setting, a camera will be installed on the feeder to continuously monitor incoming seeds, integrated into an Arduino controller. Utilizing a model trained and validated on similar images, the system will identify seed types in real-time and classify them accordingly. With the seed classifier, the screw press can automatically adjust to optimal working parameters, such as height and temperature, specific to the identified seed type. Implementing this screw press model setup reduces human errors and addresses obstacles through automated adjustments per identified object. Moreover, the model's versatility allows it to be trained for various applied engineering challenges.

In the screw press operation for sunflower seeds, key parameters affecting oil extraction include height, temperature, and pressing speed. Maintaining the pressing temperature between 105–110 degrees Celsius ensures a high oil yield and preserves nutritional quality. Optimal speed is crucial for efficient seed crushing without overheating the oil. Additionally, the gap between the barrel and screw shaft must be precise to facilitate smooth seed movement. A too-wide gap reduces pressure and oil yield, while a too-narrow gap risks equipment damage.

Using ML, the system can adapt, learn, and improve over time, making the process more efficient. Meanwhile, CV will assist by accurately classifying different types of seeds, helping the system understand what type of seed it is dealing with and how to adjust the settings on the screw press accordingly.

Conclusion. In this research article, we've demonstrated the integration of Machine Learning (ML) and Computer Vision (CV) in optimizing the screw press operation. Firstly, with the use of the Edge Impulse platform, we successfully developed and trained an ML model to differentiate sunflower seeds from other seed types using distinctive visual characteristics. This was made possible through utilizing a robust dataset and the application of bounding box annotation for focused image

analysis. We effectively leveraged this seed identification process to optimize the screw press operation. By determining the seed type, the ML model was able to automatically adjust the parameters of the screw press for optimal oil extraction.

ML model was also trained to detect an empty seed hopper, allowing the system to automatically halt the screw press operation, preventing possible damage to the equipment and ensuring efficient use of resources.

These successful results solidify this ML-based method's potential in enhancing efficiency and precision in the oil extraction industry. The integration of such smart technologies into agricultural practices is a revolutionary step that opens the door for further advancements in automating and optimizing manual processes, thereby paving the way for the future of smart agriculture.

References

Література

1. Zhao, L., Haque, S. M. R., Wang, R. (2022, October 1). Automated seed identification with computer vision: Challenges and opportunities. *Seed Science and Technology. International Seed Testing Association*. <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.05>.
1. Zhao L., Haque S. M. R., Wang, R. Automated seed identification with computer vision: Challenges and opportunities. *Seed Science and Technology. International Seed Testing Association*. 2022, October 1. <https://doi.org/10.15258/sst.2022.50.1.s.05>.
2. Bao, F., Bambil, D. (2021). Applicability of computer vision in seed identification: Deep learning, random forest, and support vector machine classification algorithms. *Acta Botanica Brasilica*, 35(1), 17–21. <https://doi.org/10.1590/0102-33062020ABB0361>.
2. Bao F., Bambil D. Applicability of computer vision in seed identification: Deep learning, random forest, and support vector machine classification algorithms. *Acta Botanica Brasilica*. 2021. No. 35(1). P. 17–21. <https://doi.org/10.1590/0102-33062020ABB0361>.
3. Masteling, R., Voorhoeve, L., Ijsselmuiden, J., Dini-Andreote, F., De Boer, W., Raaijmakers, J. M. (2020). DiSCount: Computer vision for automated quantification of *Striga* seed germination. *Plant Methods*, 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00602-8>.
3. Masteling R., Voorhoeve L., Ijsselmuiden J., Dini-Andreote F., De Boer W., Raaijmakers J. M. DiSCount: Computer vision for automated quantification of *Striga* seed germination. *Plant Methods*. 2020. No. 16(1). <https://doi.org/10.1186/s13007-020-00602-8>.
4. Kurtulmuş, F. (2021). Identification of sunflower seeds with deep convolutional neural networks. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1024–1033. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00707-7>.
4. Kurtulmuş F. Identification of sunflower seeds with deep convolutional neural networks. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2021. No. 15(2). P. 1024–1033. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00707-7>.
5. Qadri, S., Furqan Qadri, S., Razzaq, A., Ul Rehman, M., Ahmad, N., Nawaz, S. A., ... Khan, D. M. (2021). Classification of canola seed varieties based on multi-feature analysis using computer vision approach. *International Journal of Food Properties*, 24(1), 493–504. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1900235>.
5. Qadri S., Furqan Qadri S., Razzaq A., Ul Rehman M., Ahmad N., Nawaz S. A., ... Khan D. M. Classification of canola seed varieties based on multi-feature analysis using computer vision approach. *International Journal of Food Properties*. 2021. No. 24(1). P. 493–504. <https://doi.org/10.1080/10942912.2021.1900235>.
6. Cao, C., Neilsen, M. (2020). Efficient Seed Volume Measurement Framework. In *Proceedings – 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2020* (pp. 1328–1334). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00248>.
6. Cao C., Neilsen M. Efficient Seed Volume Measurement Framework. In *Proceedings – 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence, CSCI 2020*. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2020. P. 1328–1334. <https://doi.org/10.1109/CSCI51800.2020.00248>.
7. Eryigit, R., Yilmaz, A. R., Tugrul, B. (2023). Classification of Trifolium Seeds by Computer Vision
7. Eryigit R., Yilmaz A. R., Tugrul B. Classification of Trifolium Seeds by Computer Vision Methods.

- Methods. *WSEAS Transactions on Systems*, 22, 313–320. <https://doi.org/10.37394/23202.2023.22.34>.
8. Dhanya, V. G., Subeesh, A., Kushwaha, N. L., Vishwakarma, D. K., Nagesh Kumar, T., Ritika, G., Singh, A. N. (2022, January 1). Deep learning based computer vision approaches for smart agricultural applications. *Artificial Intelligence in Agriculture*. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.09.007>.
9. Mounica, B., Gayathri, Ch., Vishnu, K., Kumar, I. (2022). Iot based food spoilage detection system using Arduino. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences*, 110–116. <https://doi.org/10.46647/ijetms.2022.v06si01.022>.
10. Joshi, A., Bokil, A., Chhajed, A., Choudhari, T., Kalamkar, A. (2022). Food Spoilage Detection System using ESP-8266. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, 10(12), 1013–1016. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.48087>.
11. Eryigit, R., Yilmaz, A. R., Tugrul, B. (2023). Classification of Trifolium Seeds by Computer Vision Methods. *WSEAS Transactions on Systems*, 22, 313–320. <https://doi.org/10.37394/23202.2023.22.34>.
12. Rodríguez-Pulido, F. J., Ferrer-Gallego, R., Lourdes González-Miret, M., Rivas-Gonzalo, J. C., Escribano-Bailón, M. T., Heredia, F. J. (2012). Preliminary study to determine the phenolic maturity stage of grape seeds by computer vision. *Analytica Chimica Acta*, 732, 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.01.005>.
13. Tougui, I., Jilbab, A., El Mhamdi, J. (2021). Impact of the Choice of Cross-Validation Techniques on the Results of Machine Learning-Based Diagnostic Applications. *Healthcare Informatics Research*, 27(3). 189–199. <https://doi.org/10.4258/hir.2021.27.3.189>.
14. Cheng, H., Garrick, D. J., Fernando, R. L. (2017). Efficient strategies for leave-one-out cross validation for genomic best linear unbiased prediction. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, Vol. 8, Article no. 38. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0164-6>.
15. Awwalu, J., Ogwueleka, F. (2019). On Holdout and Cross Validation: A Comparison between Neural Network and Support Vector Machine. *International Journal of Trend in Research and Development*, 6(2). <https://www.researchgate.net/publication/332350661>
<https://www.researchgate.net/publication/332350661>
[On Holdout and Cross Validation A Comparison between Neural Network and Support Vector Machine](https://www.researchgate.net/publication/332350661)
- WSEAS Transactions on Systems*. 2023. No. 22. P. 313–320. <https://doi.org/10.37394/23202.2023.22.34>.
8. Dhanya V. G., Subeesh A., Kushwaha N. L., Vishwakarma D. K., Nagesh Kumar T., Ritika G., Singh A. N. Deep learning based computer vision approaches for smart agricultural applications. *Artificial Intelligence in Agriculture*. KeAi Communications Co., 2022, January 1. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2022.09.007>.
9. Mounica B., Gayathri Ch., Vishnu K., Kumar I. Iot based food spoilage detection system using Arduino. *International Journal of Engineering Technology and Management Sciences*. 2022. P. 110–116. <https://doi.org/10.46647/ijetms.2022.v06si01.022>.
10. Joshi A., Bokil A., Chhajed A., Choudhari T., Kalamkar A. Food Spoilage Detection System using ESP-8266. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2022. No. 10(12). P. 1013–1016. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.48087>.
11. Eryigit R., Yilmaz A. R., Tugrul B. Classification of Trifolium Seeds by Computer Vision Methods. *WSEAS Transactions on Systems*. 2023. No. 22. P. 313–320. <https://doi.org/10.37394/23202.2023.22.34>.
12. Rodríguez-Pulido F. J., Ferrer-Gallego R., Lourdes González-Miret M., Rivas-Gonzalo J. C., Escribano-Bailón M. T., Heredia F. J. Preliminary study to determine the phenolic maturity stage of grape seeds by computer vision. *Analytica Chimica Acta*. 2012. No. 732. P. 78–82. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2012.01.005>.
13. Tougui I., Jilbab A., El Mhamdi J. Impact of the Choice of Cross-Validation Techniques on the Results of Machine Learning-Based Diagnostic Applications. *Healthcare Informatics Research*. 2021. No. 27(3). P. 189–199. <https://doi.org/10.4258/hir.2021.27.3.189>.
14. Cheng H., Garrick D. J., Fernando R. L. Efficient strategies for leave-one-out cross validation for genomic best linear unbiased prediction. *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 2017. Vol. 8. Article no. 38. <https://doi.org/10.1186/s40104-017-0164-6>.
15. Awwalu J., Ogwueleka F. On Holdout and Cross Validation: A Comparison between Neural Network and Support Vector Machine. *International Journal of Trend in Research and Development*. 2019. Vol. 6(2). <https://www.researchgate.net/publication/332350661>
<https://www.researchgate.net/publication/332350661>
[On Holdout and Cross Validation A Comparison between Neural Network and Support Vector Machine](https://www.researchgate.net/publication/332350661)

HAVRAN VOLODYMYR

Postgraduate Student
Department of Computer-Aided Design,
Lviv Polytechnic National University, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6046-6094>
Scopus Author ID: 57219865539
Researcher ID: JSX-4251-2023
E-mail: volodymyr.b.havran@lpnu.ua

ORYNCHAK MARIA

Postgraduate Student
Department of Computer-Aided Design,
Lviv Polytechnic National University, Ukraine
Scopus Author ID: 57234615800
<https://orcid.org/0000-0002-5334-1904>
E-mail: mariia.r.orynchak@lpnu.ua

ГАВРАН В. Б., ОРІНЧАК М. Р.

Національний університет «Львівська політехніка», Україна

ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ ТА МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРИКЛАДНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ: АНАЛІЗ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ДАНИХ

Мета. Розробка моделі машинного навчання для застосування прикладної інженерії для широкого спектру дій, як ідентифікація насіння соняшника серед інших видів насіння та налаштування параметрів шнекового преса відповідно для оптимального видобутку олії. Крім того, вона спрямована на широкий спектр аналізу, для прикладу передбачення моделі для визначення та зменшення шуму.

Методика. Аналіз наукових джерел, експериментальних даних, моделювання та машинне навчання. Модель машинного навчання була навчена за допомогою платформи Edge Impulse за допомогою набору зображень насіння, анотованих для фокусу. Після ітеративного навчання, перевірки та тестування модель була вбудована в контролер Arduino для ідентифікації насіння в реальному часі та автоматичного регулювання роботи шнекового преса.

Результати. Ця наукова стаття пропонує альтернативний експериментальний підхід в прикладній інженерії, спрямований на процес видобутку насіння для отримання олії за допомогою автоматизації операцій шнекового преса з використанням машинного навчання (ML) та комп'ютерного зору (CV). Ключові результати включають успішне розрізнення насіння соняшника та гарбуза та точне налаштування параметрів шнекового преса на основі ідентифікації типу насіння. ML також використовується для виявлення пустого живильника та автоматичної зупинки роботи преса, що запобігає пошкодженню обладнання та забезпечує ефективність. Ці результати відкривають шлях до покращення автоматизації та точності в процесах видобутку насіння для отримання олії.

Наукова новизна. Представлене застосування ML і CV в контексті екстракції олії з насіння за допомогою шнекового преса практичним експериментальним методом підкреслює потенціал використання технологій у прикладній інженерії, зокрема оптимізації сільськогосподарських процесів.

Практична значимість. Стаття виявляє практичну користь на основі експериментальних даних, що полягають в автоматичній оптимізації процесу видобування олії, зменшенню кількості ручної роботи, та збільшенню продуктивності в даній індустрії виготовлення олії, а також застосування цих методів у галузі прикладної інженерії. Це дослідження є кроком у напрямку автоматизованого майбутнього, в якому передові технології допомагатимуть реалізувати прогресивні, ефективні та сталі підходи галузі агрокультури.

Ключові слова: штучний інтелект; розпізнавання зображень; Arduino; шнековий прес; насіння; прикладна інженерія.

УДК 620.9

^{1,2}ДЕШКО В. І., ^{1,3}БІЛОУС І. Ю., ¹ГУРЄЄВ М. В.

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

²Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

³Інститут загальної енергетики НАН України, Україна

ВЕНТИЛЯЦІЯ ЯК СКЛАДОВА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ДИНАМІЧНОГО БАЛАНСУ В БУДІВЛЯХ

Мета. Дослідження спрямоване на аналіз динамічного енергетичного моделювання будівель з використанням програмного забезпечення EnergyPlus та DesignBuilder. Основна мета полягає в оцінці енергетичної ефективності, повітряної якості та енергетичного балансу будівель з врахуванням різноманітних аспектів, таких як повітрообмін та динамічні зміни в температурі та вологості.

Методика. В роботі використовувались програми EnergyPlus та DesignBuilder для створення детальних динамічних моделей будівель. Основна увага приділялась моделюванню повітрообміну та вивченню енергетичного балансу. Різні алгоритми моделювання повітрообміну порівнювались для визначення їх впливу на енергетичну ефективність.

Результати. Досліджено енергетичні потоки в будівлях на основі динамічних енергетичних балансів для періоду опалення. Проведено поглиблений аналіз впливу повітрообміну в динамічних енергетичних балансах досліджуваної кімнати житлової будівлі.

Наукова новизна. Це дослідження пропонує новий погляд на динамічне енергетичне моделювання будівель, розширюючи знання в цій галузі через спрямовану увагу на аспекти повітрообміну та енергетичного балансу. Результати внесуть важливий вклад у розвиток підходів до підвищення енергоефективності, створюючи нові можливості для практичного застосування в інженерному проектуванні та будівельній експлуатації.

Практична значимість. Отримані результати є важливим внеском для інженерів та проектувальників, розробляючи стратегії зменшення енергоспоживання та оптимізації енергетичного споживання будівель. Дослідження може слугувати вказівником для практичного впровадження динамічного моделювання в плануванні та експлуатації будівель для досягнення оптимальної енергоефективності.

Ключові слова: динамічне моделювання будівель; повітрообмін; тепловий баланс; енергетична ефективність; споживання енергії.

Вступ. Енергоефективність будівель – це одна з найбільш актуальних проблем сьогодення. За даними Міжнародного агентства з енергетики, на будівлі припадає близько 40% світового енергоспоживання і викидів в атмосферу [1]. Україна не є винятком - існуючий будівельний фонд країни потребує реабілітації, щоб зменшити витрати на енергію та викиди CO₂.

Один з інструментів для досягнення енергоефективності будівель – це енергетичне моделювання, яке дозволяє оцінити енергетичну ефективність будівель та ідентифікувати можливості для їх поліпшення. Крім того, енергетичне моделювання дозволяє проводити різні сценарії та визначати найбільш оптимальні рішення з точки зору енергоефективності. Це може включати зміни в дизайні будівель, оптимізацію систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря, а також встановлення енергоефективного обладнання.

Традиційні розрахунки базуються на аналізі статичних енергетичних характеристик будівель. Однак сучасний підхід до дослідження включає в себе моделювання в динаміці, яке дозволяє враховувати зміни в часі та ідентифікувати динаміку енергетичних процесів в будівлі.

Моделювання в динаміці надає можливість вивчати взаємодію між різними системами будівлі в реальному часі. Це означає, що дослідники можуть досліджувати, як зміни в одній

системі впливають на інші [2], а також аналізувати реакцію будівлі на зовнішні чинники, такі як зміни погодних даних, графіків експлуатації будівлі. Режимів опалення/охолодження, тощо.

Однією з основних переваг моделювання в динаміці є можливість розробляти більш точні та реалістичні стратегії для підвищення енергоефективності будівель. Дослідники можуть експериментувати з різними сценаріями, шукаючи оптимальні рішення щодо зменшення споживання енергії [3, 4] та викидів.

Таким чином, енергетичне моделювання в динаміці є важливим інструментом для розуміння та поліпшення енергоефективності будівель. Дослідники можуть використовувати програми, такі як EnergyPlus [6] та DesignBuilder [7], для створення детальних моделей будівель та дослідження їхньої енергетичної продуктивності в реальному часі. Це допомагає розробляти стратегії зниження витрат на енергію та зменшення впливу будівлі на навколишнє середовище.

Тепловтрати через повітрообмін, або інфільтрацію, представляють значущий внесок у загальні тепловтрати будівлі. Цей процес відбувається через непередбачувані шляхи, такі як щілини, тріщини та інші нещільності в конструкціях будівлі. Низька ефективність інфільтрації може призводити до великих втрат тепла, що впливає на енергоефективність і, відповідно, на витрати на опалення.

Для визначення і керування цими тепловтратами застосовують методи моделювання та аналізу повітрообміну. Енергетичні моделі можуть враховувати параметри, такі як швидкість вітру, ефективна площа протікання, коефіцієнт інфільтрації та інші фактори, щоб оцінити вплив інфільтрації на тепловий баланс будівлі.

Ефективне управління повітрообміном може значно підвищити енергоефективність будівель, зменшити витрати на опалення та кондиціонування повітря і сприяти створенню комфортних умов для життя та роботи. Врахування тепловтрат через інфільтрацію у динамічних моделях будівель дозволяє реалістично оцінювати їхні впливи на енергетичну ефективність і розробляти стратегії для їхнього зменшення.

Одним з ключових факторів, що впливає на енергоефективність будівель, є явище теплових перетоків між зонами з різними теплофізичними характеристиками [5]. Це явище виникає через різницю в температурі, вологості та інших параметрах між зонами. Дослідження цих перетоків є важливим для забезпечення енергоефективності будівель та зниження витрат на енергію.

В цьому контексті енергетичне моделювання в динаміці є ключовим інструментом для розуміння і виявлення перетоків теплової енергії в будівлях та для прогнозування енергетичної ефективності будівель. Для проведення досліджень здебільшого використовуються програми EnergyPlus [6] та DesignBuilder [7], які дозволяють створити детальну модель будівлі та визначити її енергетичні характеристики. У результаті можна розробити стратегії зниження енергоспоживання та витрат на енергію, що сприятиме забезпеченню енергоефективності будівель.

Постановка завдання. Мета статті полягає в розв'язанні ключової проблеми енергоефективності будівель шляхом вдосконалення методів енергетичного моделювання в динаміці. Під час огляду сучасних досліджень виявлено недоліки в розумінні впливу повітрообміну на тепловий баланс будівель. Об'єктом даного дослідження є аналіз взаємозв'язку між динамічним моделюванням, повітрообміном та тепловим балансом. Також розглядається вплив кліматичних особливостей на енергетичну ефективність будівель. Отже, стаття пропонує новий підхід до розуміння та оптимізації взаємодії цих факторів для досягнення вищого рівня енергоефективності будівель.

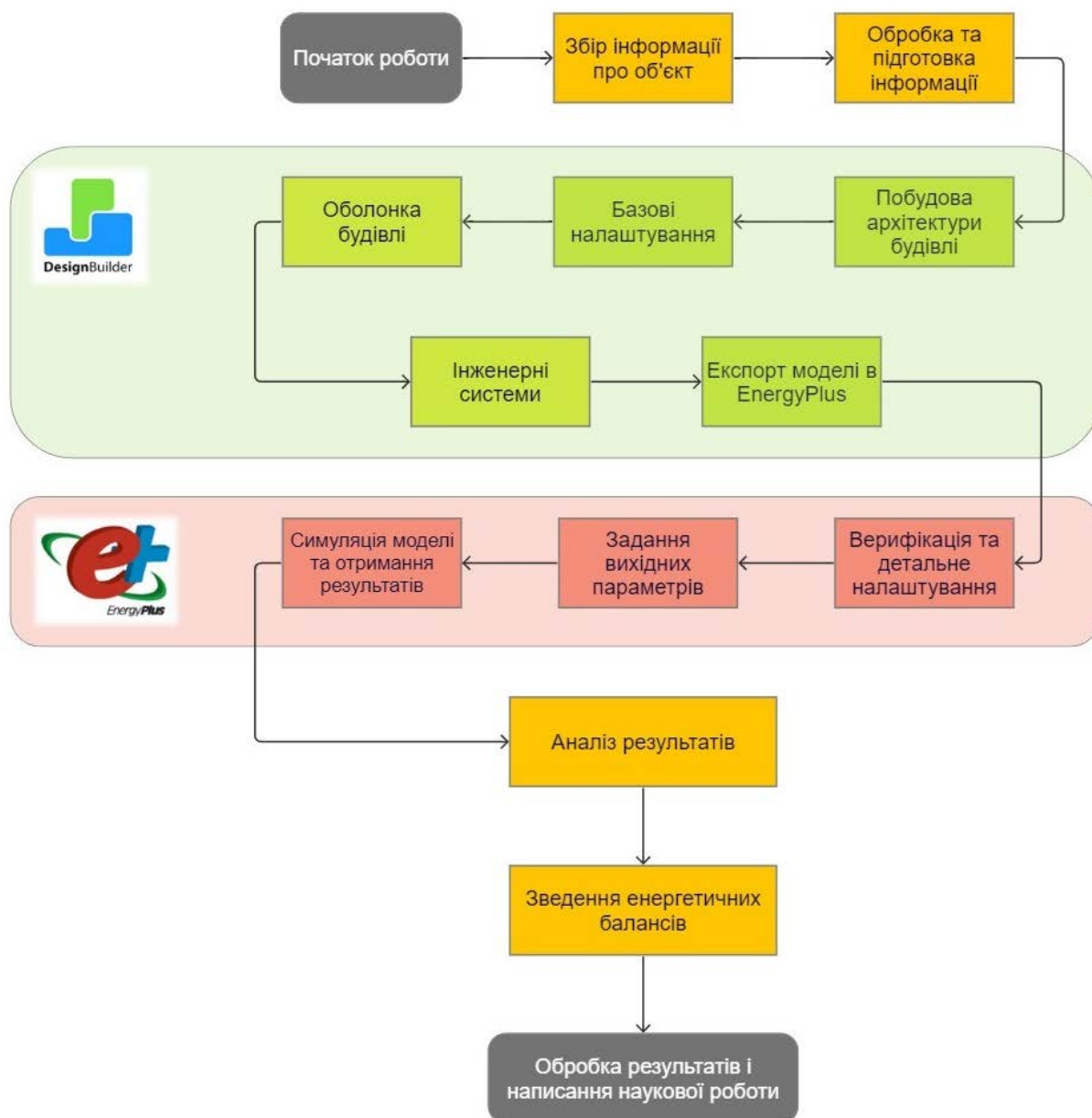


Рис. 1. Блок-схема алгоритму створення енергетичної моделі

Опис моделі. Етапи реалізації енергетичного моделювання будівель (рис. 1):

1. *Збір інформації про об'єкт.* Інспекція об'єкту дослідження: розташування та кліматична інформація про об'єкт, призначення будівлі, поверхові плани, фотофіксація та замір конструктивних елементів будівлі, інформація про систему опалення будівлі (джерело опалення, тип системи), інформація, про системи кондиціонування, вентиляції, водопостачання, освітлення, кількість людей, що проживає у будівлі, середній вік та соціальний статус.

2. *Обробка та підготовка інформації.* Побудова поверхових планів будівлі, розрахунок теплофізичних характеристик конструкцій будівлі (зовнішні та внутрішні стіни, світлопрозорі конструкції та двері, горизонтальні перекриття, підлога, дах).

3. *Побудова архітектури будівлі.* Побудова 3D моделі будівлі в програмному забезпеченні DesignBuilder на основі зібраної інформації.

4. *Базові налаштування.* Задання інформації про розташування, кліматичні дані, орієнтацію та призначення будівлі.

5. *Оболонка будівлі.* Налаштування матеріалів конструкцій будівлі, їх теплофізичних характеристик.

6. *Інженерні системи.* Налаштування систем опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення, водопостачання, обладнання (побутові прилади та інженерні системи).

7. *Експорт моделі в EnergyPlus.*

8. *Верифікація та детальне налаштування.* Перевірка введених даних експортованої моделі, більш детальне налаштування досліджуваних характеристик.

9. *Задання вихідних параметрів.* Визначити досліджувані теплові зони і елементи та їх вихідні параметри.

10. *Симуляція моделі та отримання результатів.*

11. *Аналіз результатів.*

12. *Зведення енергетичних балансів.*

DesignBuilder – це програмне забезпечення, що використовується для проектування, моделювання та аналізу енергоефективності будівель. Це інструмент для інтегрованого проектування будівель, який дозволяє виконувати аналіз енергоспоживання та визначити оптимальні стратегії для забезпечення енергоефективності.

Основні можливості DesignBuilder [7]:

Створення 3D-моделей будівель. За допомогою DesignBuilder можна створити детальну 3D-модель будівлі з усіма необхідними елементами, такими як стіни, вікна, двері, дахи, опалення та кондиціонування повітря, освітлення та ін.

Визначення енергетичної ефективності. DesignBuilder дозволяє визначити енергетичну ефективність будівлі, використовуючи різні аналітичні моделі та алгоритми. За допомогою програми можна визначити енергоспоживання будівлі, оцінити рівень комфорту для користувачів та визначити оптимальні стратегії для зниження енергоспоживання та витрат на енергію.

Оптимізація будівельних систем. DesignBuilder дозволяє виконувати оптимізацію систем опалення, кондиціонування повітря та інших систем, що дозволяє забезпечити оптимальний рівень комфорту для користувачів та знизити витрати на енергію.

Створення звітів. DesignBuilder дозволяє створювати звіти з результатами аналізу енергоефективності будівлі, які містять детальну інформацію про енергоспоживання та оптимальні стратегії для забезпечення енергоефективності.

Крім основних функцій моделювання, DesignBuilder також може допомогти в створенні 3D-моделі будівлі та початковому налаштуванні параметрів. Ця програма дозволяє користувачам зручно та швидко створювати реалістичну 3D-модель будівлі, додавати вікна, двері та інші елементи інтер'єру. Також DesignBuilder має можливість експортувати модель в EnergyPlus, що дозволяє подальше детальне моделювання та аналіз енергоефективності будівлі. EnergyPlus є одним з найбільш потужних та широко використовуваних інструментів для моделювання енергоефективності будівель. EnergyPlus дозволяє досліджувати та аналізувати перетоки теплової енергії між зонами з різними тепловими умовами.

Для дослідження була взята існуюча 12 поверхова будівля 1993 року забудови. Об'єкт розташований у Солом'янському районі у м. Києві. Будівля була побудована за індивідуальним проектом. У будівлі 175 квартир з загальною кількістю житлових кімнат 431.

Стіни будівлі самонесучі виконані з керамічної пустотілої цегли. На фасаді присутне клаптикове утеплення проведене за індивідуальною ініціативою власників квартир. Вікна металопластикові з подвійним склінням в своїй більшості (80%) проте в деяких квартирах

зустрічаються й однокамерні металопластикові або вікна з дерев'яними рамами (20%). Опір теплопередачі зовнішніх стін будівлі – 1,122 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/Вт.

Горизонтальні перекриття між квартирами прийнято з залізобетонної плити 220 мм, оштукатуреної з однієї сторони, облаштоване звукоізоляцією та підлоговим перекриттям. Опір теплопередачі перекриття – 0,572 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/Вт.

Внутрішні міжкімнатні стіни прийняті з цегляної кладки, товщиною 125 мм (півцегли), оштукатурені з обох сторін. Опір теплопередачі перекриття – 0,402 ($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)/Вт. Характеристики оболонки будівлі представлені на рис. 2.

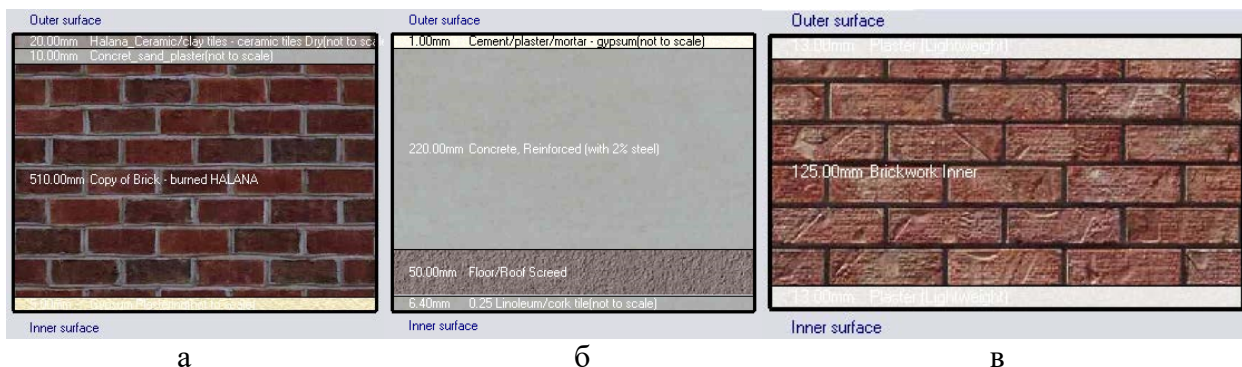


Рис. 2. Склад огорожувальних конструкторських кімнати:
а – зовнішніх стін; б – внутрішнього горизонтального перекриття;
в – внутрішніх стін між квартирами

Для проведення досліджень було обрано репрезентативну кімнату в одній із центральних квартир на 4-му поверсі і прилеглі до неї приміщення. На рис. 3 представлено 3Д-модель будівлі та її план.

Створена динамічна модель будівлі враховує враховувати погодинні сонячні тепло надходження в зону будівлі, рівень повітрообміну, втрати через оболонку будівлі, акумуляцію тепла в огороженнях, тощо. В розглянутій моделі внутрішні джерела теплонадходження від освітлення, обладнання та людей не задавалися.

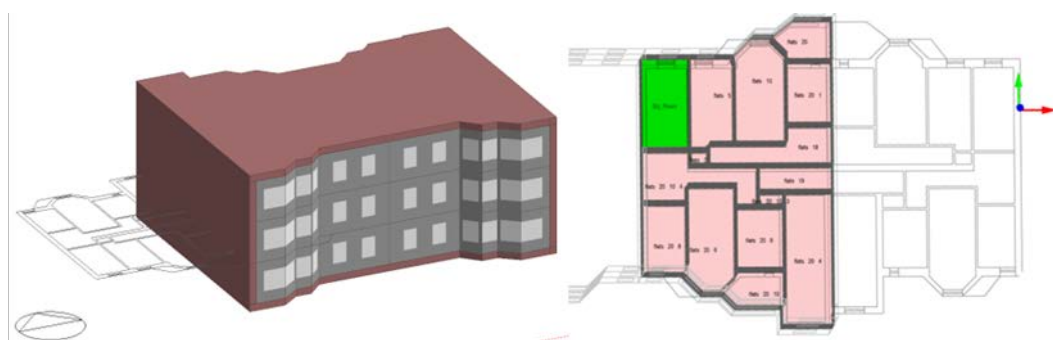


Рис. 3. Вигляд 3D моделі та поверхового планування

Для моделювання використовувався погодинний інтервал, оскільки він дозволяє з високою точністю відтворювати динаміку змін зовнішнього середовища та внутрішнього теплового навантаження будівлі, що є важливим при оцінці енергетичної ефективності та порівнянні різних заходів з енергозбереження.

Аналізувалися кліматичні дані з міжнародного погодинного погодного файлу IWEC для м. Київ [8] (International Weather for Energy Calculation). В рамках дослідницького проекту

RP-1015 U.S. National Climatic Data Center були створені кліматичні файли типового року International Weather for Energy Calculations (IWEC) для ряду міст. Процедура отримання даних була заснована на виборі типового року протягом 18-річної послідовності погодніх даних. Погодинні значення з файлу IWEC [8] включають в себе температуру сухого термометра, відносну вологість, швидкість та напрям вітру, барометричний тиск, пряму (виражена через direct normal) та розсіяну сонячну радіацію на горизонтальну поверхню (diffuse horizontal) тощо. Кліматичний файл представляє значення для погодинних інтервалів. Середня температура зовнішнього повітря в IWEC вища за стандарт [9], що обумовлюється різними часовими інтервалами, які були використані для створення кліматичних даних типового року (рис. 4). В зимовий період середньомісячна температура повітря згідно з IWEC на $0,84^{\circ}\text{C}$ вища за ДСТУ «Будівельна кліматологія» [9], а в літні місяці вища на $1,83^{\circ}\text{C}$.

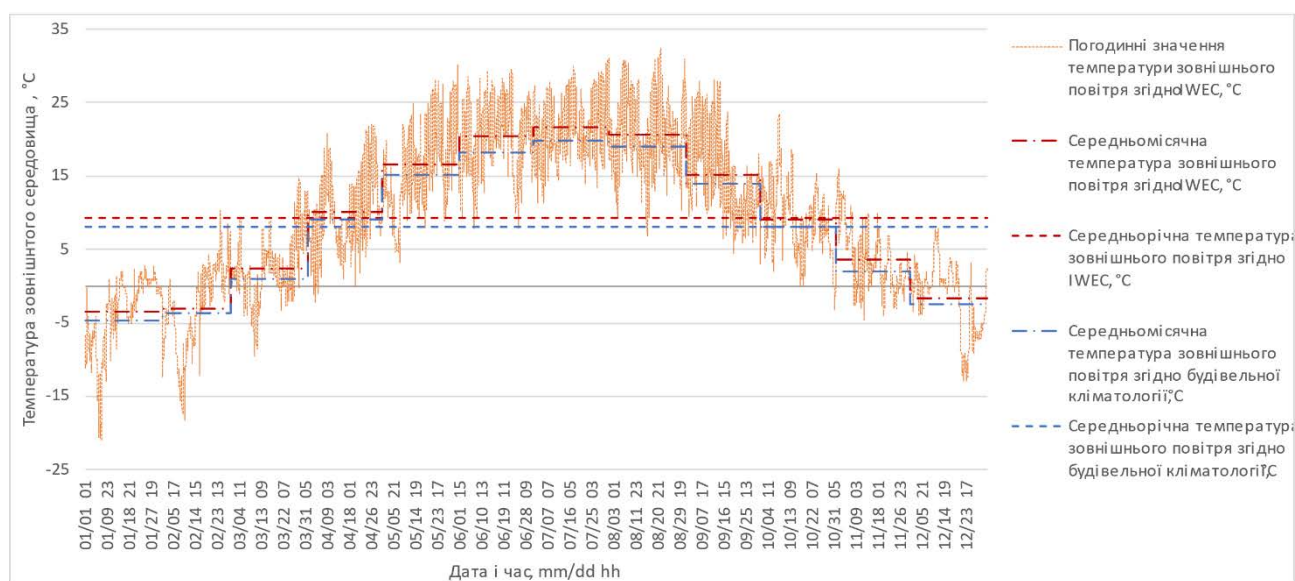


Рис. 4. Температура зовнішнього повітря

Результати дослідження. Теплонадходження від системи опалення можна розділити на дві частки: радіаційну (Radiant) та конвективну (Convective):

- Baseboard Radiant Heating Rate (Інтенсивність радіаційного потоку системи опалення);
- Baseboard Convective Heating Rate (Інтенсивність конвекційного потоку системи опалення).

Теплові надходження та втрати поверхонь стін кімнати характеризують теплообмін між повітрям у кімнаті та відповідною стіною. Їх також можна поділити на складові (рис. 5):

- Surface Inside Face Convection Heat Gain Rate (Інтенсивність конвекційних теплових надходжень до внутрішньої поверхні);
- Surface Inside Face Net Surface Thermal Radiation Heat Gain Rate (Інтенсивність радіаційних теплових надходжень до внутрішньої поверхні від інших поверхонь);
- Surface Inside Face System Radiation Heat Gain Rate (Інтенсивність радіаційних теплових надходжень до внутрішньої поверхні від системи опалення).

Теплові втрати через вікно поділяються на потік через раму та через прозору частину вікна, який в свою чергу поділяється на конвекційний (Surface Window Inside Face Glazing Zone Convection Heat Gain Rate) та інфрачервоний (Surface Window Inside Face Glazing Net Infrared Heat Transfer Rate) потоки.

В дослідженні динамічних енергетичних балансів будівлі з використанням програмного продукту EnergyPlus, можливо розділити навантаження на інженерні системи будівлі та теплові втрати на окремі складові, що дозволяє складати та аналізувати тепловий баланс будівлі.

Основні складові навантаження, які присутні у досліджуваній моделі:

- Тепловтрати через зовнішню стіну
- Теплові перетоки через внутрішні огорожувальні конструкції (стіни, стеля, підлога)
- Тепловий потік через вікно
- Сонячні теплонадходження.
- Тепловтрати через інфільтрацію
- Теплонадходження від системи опалення.

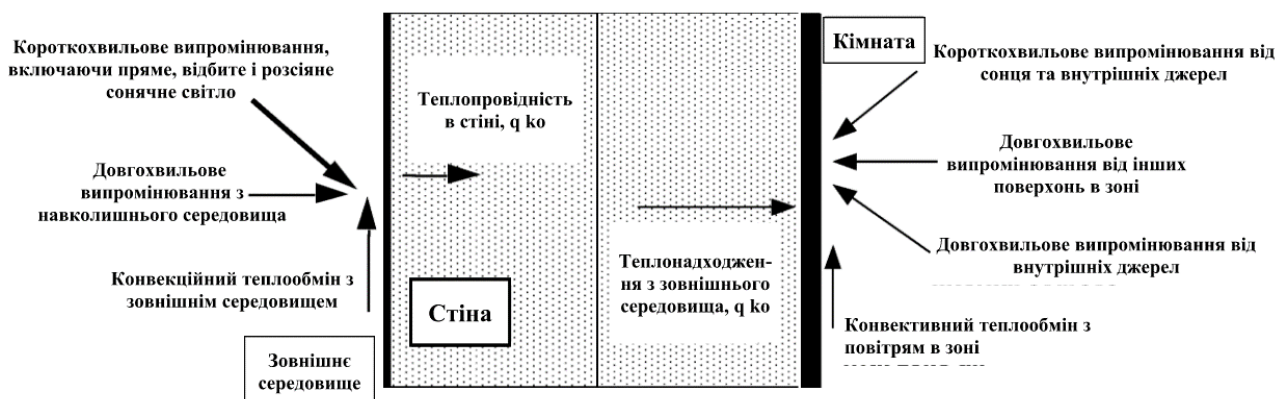


Рис. 5. Теплові потоки через зовнішню стіну будівлі

Повітрообмін, виконує важливу роль у дослідженні та аналізі енергетичної ефективності будівель. Повітрообмін впливає на якість повітря в приміщенні, комфортні умови для життя та роботи людей, а також на енергетичну ефективність опалювання та кондиціонування. Варто зазначити, що на підігрів вентилязованого повітря взимку затрачається значна частина енергії. Яка затрачається будівлями на потреби опалення [10].

EnergyPlus [6] дозволяє врахувати повітрообмін за допомогою різних алгоритмів, щоб передбачені програмою. Кожен алгоритм має свої особливості та використовується в залежності від доступних даних та потреб дослідження. Деякі алгоритми зосереджені на інфільтрації, яка відбувається через щілини та тріщини в будівельних елементах, таких як двері та вікна. Інші алгоритми моделюють вентиляцію, що залежить від швидкості вітру та природної конвекції.

Кожен алгоритм має свої вхідні параметри та розрахункові формули, що використовуються для визначення обсягу повітря, що проникає в будівлю або видаляється з неї. Деякі алгоритми базуються на заданих обсягах потоку повітря, тоді як інші використовують фізичні властивості будівельних елементів та зовнішні умови для розрахунку.

Використання цих алгоритмів дозволяє моделювати повітрообмін в будівлі з урахуванням різних факторів, таких як температура, вологість, швидкість вітру та фізичні властивості будівельних матеріалів. Це дозволяє інженерам отримати детальну оцінку енергетичної ефективності будівель та прийняти відповідні рішення для їх вдосконалення. Основні алгоритми розрахунку повітрообміну в будівлях:

1. ZoneInfiltration:DesignFlowRate: Цей алгоритм використовує заданий розрахунковий об'єм потоку повітря для моделювання інфільтрації в приміщенні. Використовується, коли відома або задана конкретна величина потоку повітря, яку треба врахувати в моделі.

2. ZoneInfiltration:EffectiveLeakageArea: Цей алгоритм використовує ефективну площу проникання для моделювання інфільтрації в приміщенні. Ефективна площа проникання визначається на основі фізичних характеристик будівельних елементів і зовнішніх умов, таких як температура, вологість та швидкість вітру.

3. ZoneInfiltration:FlowCoefficient: Цей алгоритм використовує коефіцієнт пропускної здатності для моделювання інфільтрації в приміщенні. Коефіцієнт пропускної здатності визначається на основі розрахункових значень потоку повітря та різних параметрів, таких як різниця температур, різниця вологості та площа поверхні будівельних елементів.

4. ZoneVentilation:DesignFlowRate: Цей алгоритм використовує заданий розрахунковий об'єм потоку повітря для моделювання вентиляції приміщення. Використовується, коли відома або задана конкретна величина потоку повітря, яку треба врахувати в моделі.

5. ZoneVentilation:WindandStackOpenArea: Цей алгоритм використовує площу відкритих вікон і прорізів для моделювання вентиляції приміщення, що виникає внаслідок дії вітру та природного конвекційного потоку. Враховується вплив швидкості вітру, розмірів вікон і прорізів, а також інших параметрів, що впливають на повітряний потік.

6. ZoneAirBalance:OutdoorAir: Цей алгоритм використовує різницю між зовнішнім повітрям та внутрішнім повітрям для моделювання вентиляції приміщення. Враховується заданий обсяг зовнішнього повітря, який потрібно введення або витягнути з приміщення з метою підтримки балансу повітря.

У цьому дослідженні використана модель інфільтрації DesignFlowRate [6], яка до нормативного/заданого значення кратності повітрообміну додає надбавку, яка залежить від внутрішніх та зовнішніх умов середовища (для теплого періоду ця розбіжність менша, а холодного періоду більша) (формула 1). Саме тому, за результатами моделювання інфільтрація вище, ніж задана або константа, яка часто використовується у розрахунках за стандартами [11]. Особливо в опалювальний період, коли різниця температур може значно варіюватися. Такий розкид спричинений, більшою мірою, змінами в погодних умовах, від яких залежить температура, густина, вологість повітря.

$$\text{Інфільтрація} = (I_{\text{пр}})(F_{\text{графік}})[A + B |T_{\text{вн}} + T_{\text{зовн}}| + C (\text{Шв. Вітру}) + D (\text{Шв. Вітру}^2)], \quad (1)$$

де $I_{\text{пр}}$ – це проектне значення інфільтрації, яке вводиться в модель. Воно визначає очікуваний потік повітря через інфільтрацію при стандартних умовах;

$F_{\text{графік}}$ – фактор відображає графік роботи будівлі та його вплив на інфільтрацію. Він враховує зміни в інфільтрації в залежності від часу і дня тижня. Цей фактор може бути заданий користувачем або враховуватись автоматично;

$T_{\text{вн}}$ – температура повітря всередині приміщення;

$T_{\text{зовн}}$ – температура зовнішнього повітря;

Шв. Вітру – швидкість вітру згідно кліматичних даних;

А, В, С і D – коефіцієнти встановлюються для розрахунку інфільтрації. Вони корегують різні фактори впливу на інфільтрацію (температури внутрішнього і зовнішнього середовищ, швидкості вітра).

На рис. 6 представлено графік зміни кратності повітрообміну пов'язаної з природною вентиляцією.

На рис. 6 наведено рівень повітрообміну, який задається при налаштуванні моделей/в розрахунку за [12], для житлових будівель допускається $0,6 \text{ год}^{-1}$. Відповідно, до формули (1)

при погодинному розрахунку (коригуванні) заданого значення кратності повітрообміну протягом опалювального періоду змінюється в діапазоні 0,59...0,69 год⁻¹.

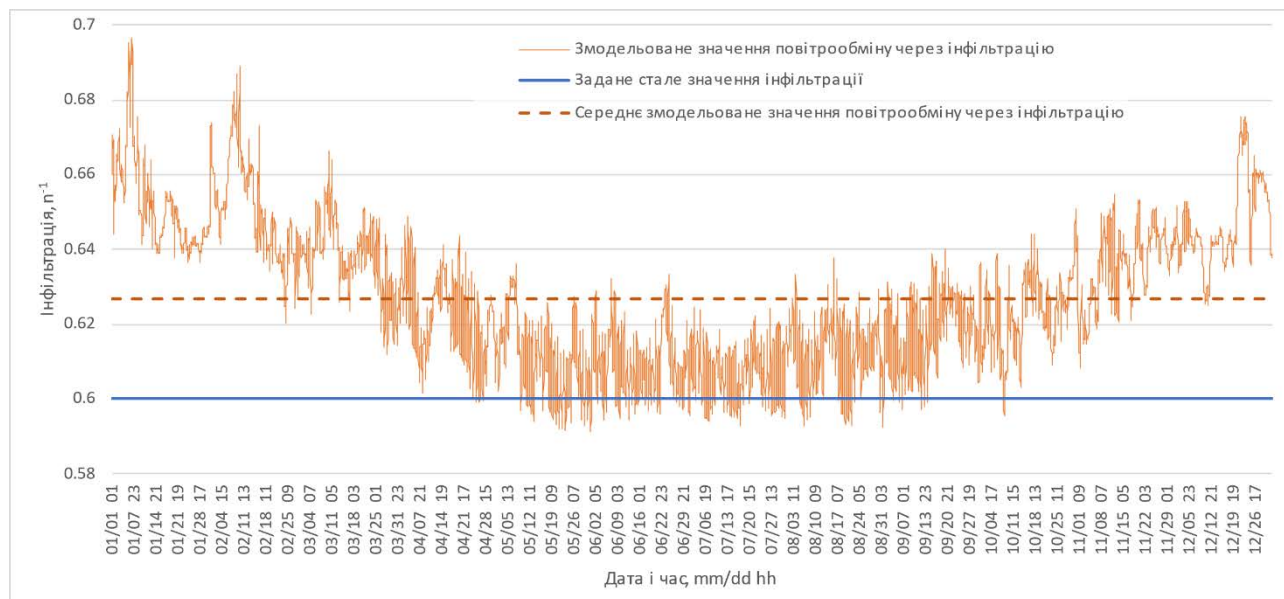


Рис. 6. Кратність повітрообміну

У статті представлено порівняння тепловтрат з інфільтрацією, розраховані за допомогою середньомісячних температур з будівельної кліматології [9], з тепловтратами, розрахованими за допомогою температур з енергетичної моделі [13], та змодельованими значеннями інфільтрації (Air Heat Balance Outdoor Air Transfer Rate) [6]. На рис. 7 представлено тепловий потік з природною складовою повітрообміну для погодинних інтервалів розрахунку розрахованих на основі формули 2 та модельного розрахунку в програмному середовищі EnergyPlus.

$$Q_{inf} = 0,337nV(t_{int} - t_{ext}), \quad (2)$$

де Q_{inf} – тепловтрати з природною вентиляції, Вт,
 n – кратність повітрообміну, год⁻¹;
 V – об’єм приміщення, що вентилюється, м³;
 t_{int} – внутрішня температура повітря в приміщенні, °С;
 t_{ext} – зовнішня температура повітря, °С.

З рис. 7 слідує, що основним фактором, що впливає на зростання тепловтрат в зимовий період, це збільшення різниці температур між внутрішнім та зовнішнім повітрям. Також інфільтрація може посилюватися через виникнення стак ефекту – це явище, яке виникає, коли тепле повітря в середині будівлі піднімається вгору і виходить через вентиляційні отвори або витоки, створюючи низький тиск у нижніх поверхах. Це спричиняє засмоктування холодного повітря ззовні через двері, вікна або інші прогалини [13, 14]. Аналіз відхилення тепловтрат через інфільтрацію з використанням середньомісячних зовнішніх температур за двома джерелами кліматологічних даних для м. Київ [8, 9] становить -0,68% для холодного періоду року.

Тепловтрати, розраховані за допомогою температур з енергетичної моделі, дали більш якісну оцінку тепловтрат через інфільтрацію в порівнянні зі значеннями, розрахованими за допомогою середньомісячних температур зовнішнього повітря.

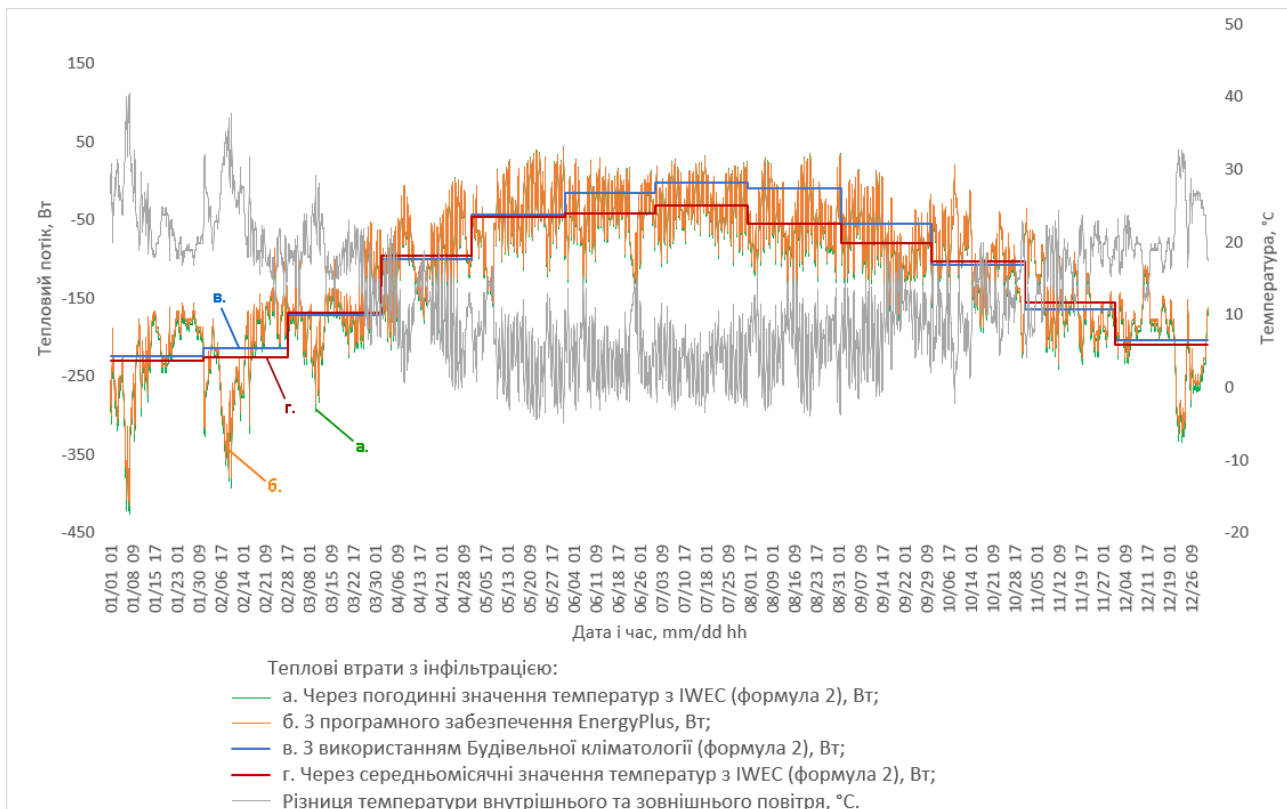


Рис. 7. Тепловий потік з природною складовою повітрообміну

Рівняння теплового балансу для внутрішнього повітря:

$$Q_{\text{огор.к}} + Q_{\text{сон}} + Q_{\text{с.оп}} + Q_{\text{вн.т}} + Q_{\text{вент}} = 0.$$

Рівняння теплового балансу для огорожень:

$$Q_{\text{огор.к}} = Q_{\text{з.ст}} + Q_{\text{вікн}} + Q_{\text{вн.ст1}} + Q_{\text{вн.ст2}} + Q_{\text{вн.ст3}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{п}} + Q_{\text{накопичення}} + Q_{\text{інф}};$$

$$Q_{\text{вн.т}} = Q_{\text{люд}} + Q_{\text{обл}};$$

$$Q_{\text{вент}} = Q_{\text{вент.мех.}} + Q_{\text{вент.нат.}} = 0;$$

$$Q_{\text{люд}} = 0;$$

$$Q_{\text{обл}} = 0,$$

де $Q_{\text{огор.к}}$ – тепловий потік через огорджувальні конструкції кімнати;

$Q_{\text{сон}}$ – теплові надходження від сонця;

$Q_{\text{вн.т}}$ – теплові надходження від внутрішніх джерел;

$Q_{\text{вент}}$ – теплові надходження або втрати через систему вентиляції;

$Q_{\text{з.ст}}$ – тепловий потік через зовнішні стіни кімнати;

$Q_{\text{вікн}}$ – тепловий потік через світлопрозорі конструкції кімнати;

$Q_{\text{вн.ст1}}, Q_{\text{вн.ст2}}, Q_{\text{вн.ст3}}$ – тепловий потік через внутрішні стіни кімнати;

$Q_{\text{ст}}$ – тепловий потік через стелю кімнати;

$Q_{\text{п}}$ – тепловий потік через підлогу кімнати;

$Q_{\text{накопичення}}$ – теплова енергія, що накопичується у стіні в моменті часу;

$Q_{\text{інф}}$ – теплові надходження або втрати через інфільтрацію;

$Q_{\text{с.оп}}$ – теплові надходження від системи опалення;

$Q_{\text{люд}}$ – теплові надходження від людей;

$Q_{\text{обл}}$ – теплові надходження від обладнання;

$Q_{\text{вент.мех.}}$ – теплові надходження/втрати через природню систему вентиляції;
 $Q_{\text{вент.нат.}}$ – теплові надходження/втрати через механічну систему вентиляції.

На рис. 8 представлено енергетичні покоти складових балансу по повітрю в приміщені для погодинних інтервалів, на прикладі лютого. Відповідно до даних погодного файлу IWEC [8] серед трьох зимових місяців для лютого характерно найнижча температура (до мінус 16°C) та найвища сонячна активні, тому даний місяць був обраний як репрезентативний.

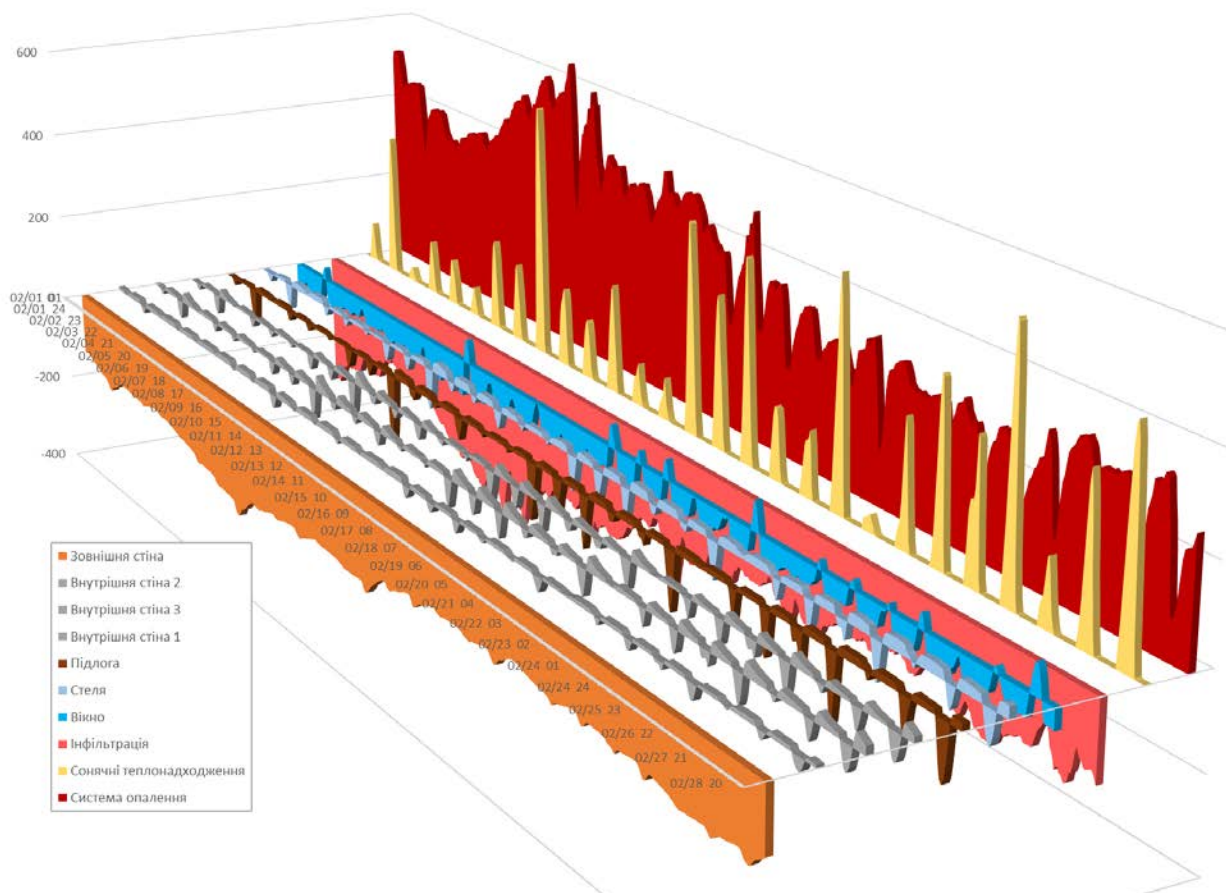


Рис. 8. Тепловий баланс

На рис. 8 проілюстровано, що для розглянутого місяця (лютого) характерні теплові потоки з кімнати (втрати) для зовнішніх огорожень та вентиляційна складова. Для внутрішніх огорожень (внутрішні стіни, підлогу та стелю) характерні схожі тенденції зміни теплових потоків, які в свою чергу залежать від теплового потоку від сонячних тепло надходжень. Тепловий потік через світлопрозорі елементи огорожень для більшої частини розглянутого часового періоду характерні від'ємні значення, для коротких проміжків часу світлопрозорі елементи огорожень у періоди пікової сонячної активності слугують як пасивні системи опалення (характерний додатній тепловий потік).

На рис. 9 представлено детальний баланс однієї години для денного та нічного часу доби.

З рис. 9 видно, що навантаження на систему опалення для денного періоду доби за рахунок сонячних тепло надходжень знижується порівняно з нічним періодом. Наведені на рис. 9 енергетичні потоки для різних періодів доби розраховані для незначних добових коливань зовнішньої температури (майже не змінна зовнішня температура протягом доби). В

денний період доби тепловий потік від вікна направлений в зону кімнати, що обумовлено сонячними теплонадходженнями. Внутрішні огорожувальні конструкції в денний період доби акумулюють тепло, а в нічний період доби віддають в зону будівлі. Так, рівень опалення в розглянутий денний момент на 40% менший, ніж у нічний. А загальний рівень теплонадходжень більш ніж на 30% вищий за рахунок сонячних теплонадходжень. Більше третини теплонадходжень в денний момент часу іде на нагрівання внутрішніх стін, підлоги та стелі.

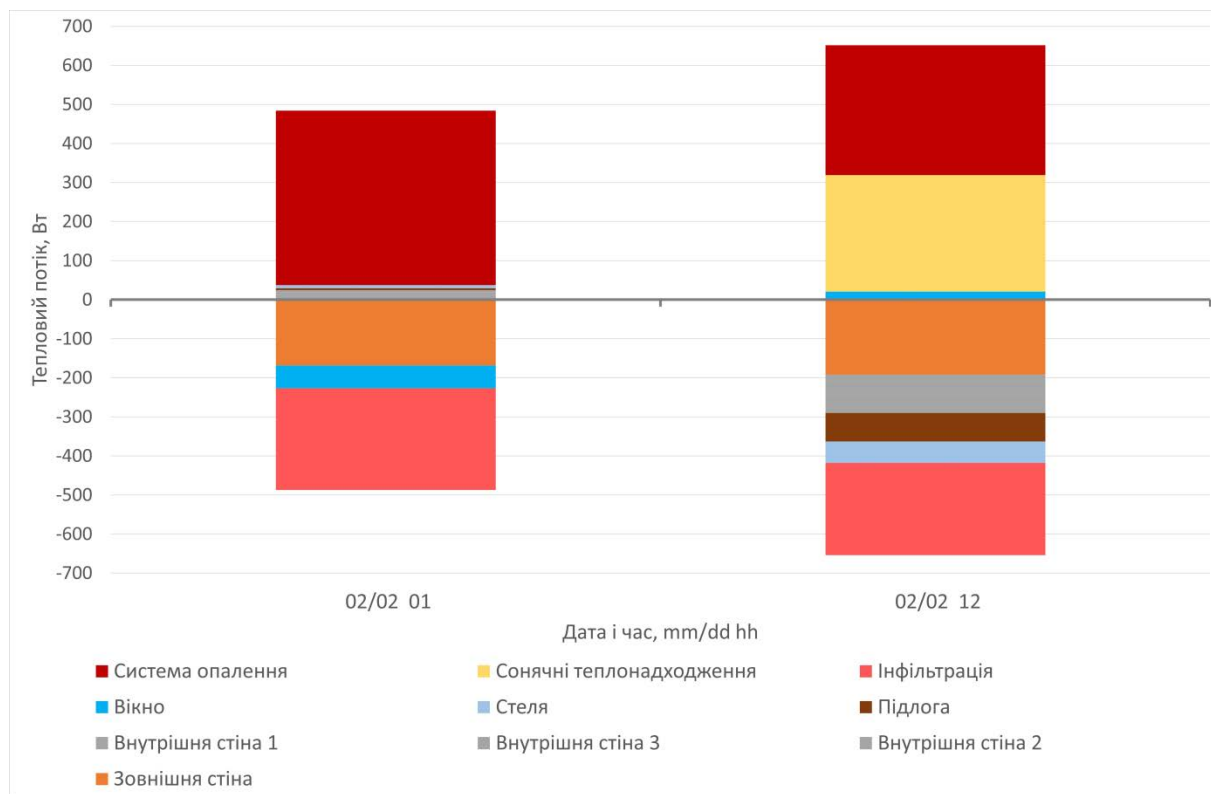


Рис. 9. Нічний та денний розріз теплового балансу

Висновки. В роботі була створена енергетична динамічна модель житлової будівлі в програмному середовищі EnergyPlus та DesignBuilder. Виділено репрезентативну кімнату для якої проведено детальне дослідження енергетичних динамічних балансів. В роботі проведено поглиблений аналіз повітрообміну як складової енергетичних балансів будівлі.

Аналіз показав, що моделювання повітрообміну в EnergyPlus надає кілька моделей для розрахунку проникнення повітря в будівлю, що дозволяє враховувати різні фактори. такі як швидкість вітру, ефективна площа протікання, коефіцієнт інфільтрації тощо.

Крім цього, проведено порівняльний аналіз розрахунку повітрообміну при використанні різних кліматичних даних. А саме Будівельна кліматологія України та міжнародний погодинний погодний файл IWEC.

На основі складених енергетичних динамічних балансів встановлено, що для внутрішніх огорожень характерні схожі тенденції зміни теплових потоків, які в свою чергу залежать від теплового потоку від сонячних тепло надходжень. Внутрішні огорожувальні конструкції в денний період доби акумулюють тепло, а в нічний період доби віддають в зону будівлі. Тепловий потік через світлопрозорі елементи огорожень для більшої частини розглянутого часового періоду характерні від'ємні значення, для коротких проміжків часу

світлопрозорі елементи огорожень у періоди пікової сонячної активності слугують як пасивні системи опалення.

Основними складовими надходжень теплового балансу, які в розглянутих умовах визначають його кількісні показники та динаміку зміни, є опалення та сонячні надходження. Витратні складові це, в основному, втрати через зовнішні стіни та повітрообмін. Динаміка зміни складових теплового балансу в приміщенні свідчить про необхідність підвищеної уваги до якості регулювання опалення при забезпеченні певного рівня умов комфортності. В подальших дослідженнях планується проаналізувати вплив тепло інерційних властивостей огорожень будівлі на енергетичні баланси.

References

Література

1. International Energy Agency (IEA) (2019). Global Status Report for Buildings and Construction. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>.
 2. Deshko, V., Bilous, I., Biriukov, D. (2021). Modeling of unsteady temperature regimes of autonomous heating systems. *Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES)*, Vol. 3, P. 91–99. URL: <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2021/11/MODELING-OF-UNSTEADYTEMPERATURE-REGIMES-OF-AUTONOMOUS-HEATING-SYSTEMS.pdf>.
 3. Deshko, V., Bilous, I., Biriukov, D., Yatsenko, O. (2021). Transient Energy Models of Housing Facilities Operation. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, Vol. 23, P. 539–551. <https://doi.org/10.54740/ros.2021.038>.
 4. Deshko, V., Bilous, I., Shovkaliuk, M., Hurieiev, M. (2020). Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine, pp. 196–200, <https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160046>.
 5. Deshko, V., Bilous, I., Maksymenko, O. (2023). Impact of Heating System Local Control on Energy Consumption in Apartment Buildings. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, Vol. 25, P. 77–85, <https://doi.org/10.54740/ros.2023.009>.
 6. EnergyPlus Energy Simulation Software. URL: <https://energyplus.net>.
 7. Design Builder Energy Simulation Software. URL: <https://designbuilder.co.uk/>
 8. IWEC Climate Data for Kyiv. URL: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR/UKR_Kiev.333450_IWEC.
1. Global Status Report for Buildings and Construction. *International Energy Agency (IEA)*. 2019. URL: <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>.
 2. Deshko V., Bilous I., Biriukov D. Modeling of unsteady temperature regimes of autonomous heating systems. *Journal of New Technologies in Environmental Science (JNTES)*. 2021. Vol. 3. P. 91–99. URL: <https://jntes.tu.kielce.pl/wp-content/uploads/2021/11/MODELING-OF-UNSTEADYTEMPERATURE-REGIMES-OF-AUTONOMOUS-HEATING-SYSTEMS.pdf>.
 3. Deshko V., Bilous I., Biriukov D., Yatsenko O. Transient Energy Models of Housing Facilities Operation. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2021. Vol. 23. P. 539–551. <https://doi.org/10.54740/ros.2021.038>.
 4. Deshko V., Bilous I., Shovkaliuk M., Hurieiev M. Evaluation of differentiated impact of apartment building occupants' behavior on energy consumption. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*, Kyiv, Ukraine. 2020. P. 196–200. <https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160046>.
 5. Deshko V., Bilous I., Maksymenko O. Impact of Heating System Local Control on Energy Consumption in Apartment Buildings. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2023. Vol. 25. P. 77–85. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.009>.
 6. EnergyPlus Energy Simulation Software. URL: <https://energyplus.net>.
 7. Design Builder Energy Simulation Software. URL: <https://designbuilder.co.uk/>
 8. Кліматичні дані IWEC для м. Києва. URL: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR/UKR_Kiev.333450_IWEC.

9. DSTU-NB V.1.1-27:2010. Budivelna kilmatolohiia. [State Standard of Ukraine DSTU-NB V.1.1-27:2010. Building Climatology]. Kyiv, 2011. 127 p. [in Ukrainian].
10. Deshko, V., Bilous, I., Sukhodub, I., Yatsenko, O. Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. *Journal of Building Engineering*, 2021, 42, 103020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103020>
11. DSTU 9190:2022. Enerhetychna efektyvnist budivel. Metod rozrakhunku enerhospozhyvannia pry opalenni, okholodzhenni, ventyliatsii, osviltenni ta hariachomu vodopostachanni [State Standard of Ukraine DSTU 9190:2022. Energy efficiency of buildings. Method for calculating energy consumption for heating, cooling, ventilation, lighting, and hot water supply]. Introduced for the first time; effective from 03.2023. Kyiv, State Enterprise "UkrNDNC," 2022. 156 p. [in Ukrainian].
12. DBN V.2.5-67:2013. Opalennia ventyliatsiia ta kondytsonuvannia [State Building Code of Ukraine DBN V.2.5-67:2013. Heating, Ventilation, and Air Conditioning]. Introduced for the first time; effective from 01.01.2014. Kyiv, State Enterprise "UkrNDNC," 2013. 147 p. [in Ukrainian].
13. Deshko, V., Bilous, I., Vynogradov-Saltykov, V., Shovkaliuk, M., Hetmanchuk, H. (2020). Integrated approaches to determination of co2 concentration and air rate exchange in educational institution. *Rocznik Ochrona Srodowiska*, Vol. 22(1), P. 82–104. URL: https://ros.edu.pl/images/roczniki/2020/007_ROS_V22_R2020.pdf.
14. Michalak, P. (2022). Thermal-Airflow Coupling in Hourly Energy Simulation of a Building with Natural Stack Ventilation. *Energies*, Vol. 15 (11), Art. 4175. <https://doi.org/10.3390/en15114175>.
9. ДСТУ-НБ В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. К., 2011. 127 с.
10. Deshko V., Bilous I., Sukhodub I., Yatsenko O. Evaluation of energy use for heating in residential building under the influence of air exchange modes. *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 42. Art. 103020. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103020>.
11. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. Уведений вперше; чинний від 03.2023. К.: ДП "УкрНДНС", 2022. 156 с.
12. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення вентиляція та кондионування. Уведений вперше; чинний від 01.01.2014. К.: ДП "УкрНДНС", 2013. 147 с.
13. Deshko V., Bilous I., Vynogradov-Saltykov V., Shovkaliuk M., Hetmanchuk H. Integrated approaches to determination of co2 concentration and air rate exchange in educational institution. *Rocznik Ochrona Srodowiska*. 2020. Vol. 22 (1). P. 82–104. URL: https://ros.edu.pl/images/roczniki/2020/007_ROS_V22_R2020.pdf.
14. Michalak P. Thermal-Airflow Coupling in Hourly Energy Simulation of a Building with Natural Stack Ventilation. *Energies*. 2022. Vol. 15 (11). Art. 4175. <https://doi.org/10.3390/en15114175>.

BILOUS INNA

Candidate of Technical Sciences, Docent
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6640-103X>
Scopus Author ID: 57194104035
ResearcherID: J-7070-2017
E-mail: bilous_inna@ukr.net

DESHKO VALERII

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

MAKSYM HURIEIEV

PhD Student, Educational and Scientific Institute
of Thermal and Nuclear Power Engineering,
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky
Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0420-3609>
E-mail: mksm2901@gmail.com

^{1,2}DESHKO V. I., ^{1,3}BILOUS I. Y., ¹HURIEIEV M. V.

¹ National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Ukraine

² Institute of Technical Thermophysicists of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

³ Institute of General Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

VENTILATION AS A COMPONENT OF THE ENERGY DYNAMIC BALANCE IN BUILDING

Purpose. The research aims to analyze dynamic energy modeling of buildings using EnergyPlus and DesignBuilder software. The primary goal is to assess the energy efficiency, indoor air quality, and energy balance of buildings, taking into account various aspects such as ventilation and dynamic changes in temperature and humidity.

Methodology. EnergyPlus and DesignBuilder software were utilized to create detailed dynamic models of buildings. Special attention was given to modeling ventilation and studying the energy balance. Various ventilation modeling algorithms were compared to determine their impact on energy efficiency.

Findings. Energy flows in buildings based on dynamic energy balances for the heating period were investigated. A detailed analysis of the influence of ventilation on dynamic energy balances in the studied residential building room was conducted.

Originality. This research offers a new perspective on dynamic energy modeling of buildings, expanding knowledge in this field by focusing on ventilation and energy balance aspects. The results contribute significantly to the development of approaches to improve energy efficiency, creating new opportunities for practical applications in engineering design and building operation.

Practical value. The obtained results are an important contribution for engineers and designers developing strategies to reduce energy consumption and optimize energy use in buildings. The research can serve as a guide for the practical implementation of dynamic modeling in the planning and operation of buildings to achieve optimal energy efficiency.

Keywords: dynamic building modeling; ventilation; thermal balance; energy efficiency; energy consumption.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.4>

УДК 697.1

^{1,2}ДЕШКО В. І., ¹ГОЛУБЕНКО О. О.

¹Навчально-науковий інститут атомної та теплової енергетики КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна

² Інститут технічної теплофізики НАН України, Україна

ВПЛИВ ВИКОРИСТАННЯ РОЗКЛАДУ ЗАНЯТЬ ДЛЯ ПРОГРАМУВАННЯ ТЕРМОСТАТІВ НА ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ ШКІЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

Вступ. Варіації пониження температури в періоди невикористання будівлі показало свою ефективність, як захід з енергозбереження. Проте, в заходах пов'язаних з терморегулювання зберігається потенціал енергозбереження, пов'язаний з більш детальними графіками опалення. Дослідження переваг та недоліків детальних графіків опалення для програмування термостатів стає важливим напрямком в розвитку сучасних систем опалення та кондиціонування.

Мета. Метою даного дослідження є дослідження переваг та недоліків впровадження терморегулювання системи опалення на базі шкільного розкладу уроків.

Методика. Дослідження виконуються на базі енергетичного моделювання у програмному середовищі DesignBuilder.

Результати. За результатами енергетичного моделювання будівлі було дослідження вплив впровадження графіку опалення на основі розкладу шкільних занять для будівель з різним рівнем теплового захисту. Графік опалення оснований на розкладі занять показав ряд переваг перед простішим графіком з провалами в неробочі години, а саме, вищу на понад 3% енергоефективність і зниження пікового навантаження на систему опалення на 3,3–3,7%.

Наукова новизна. Дослідження впливу впровадження графіку опалення оснований на розкладі занять на енергоефективність в будівлі школи та комфортність перебування людей в приміщеннях.

Практична значимість. Врахування кліматичних та будівельних особливостей, а також нівелювання впливу людського фактору, шляхом впровадження програмованих термостатів, може сприяти розробці ефективних стратегій управління опаленням, що в свою чергу призведе до значної економії енергоресурсів.

Ключові слова: енергозбереження; енергетичне моделювання будівель; графіки опалення, комфортні умови.

Вступ. Не зважаючи на те, що найбільша група споживачів серед будівель та споруд це житлові будівлі, все більше уваги в дослідженнях приділяється нежитловим споживачам, оскільки вони є гарними кандидатами для впровадження мало затратних заходів з енергозбереження, в основі яких лежить оптимальне використання будівлі. При цьому, значна увага приділяється будівлям шкільних заходів, оскільки перебування людей в приміщеннях легко прогнозується.

Останні дослідження в області енергоефективності та оптимізації систем опалення в шкільних закладах вказують на перспективність впровадження енергоефективних режимів опалення для зменшення енергоспоживання без впливу на комфорт людей в приміщеннях, оскільки учні досить чутливі до внутрішнього мікроклімату група [1–4].

В дослідження часто виділяють спрощені режими, беручи до увагу відсутність систем «розумного» управління в більшості шкіл країни, проте підкреслюють, що енергоефективні режими опалення можуть бути досягнуті шляхом інтеграції цих технологій [5, 6]. Впровадження таких засобів дозволяє оптимально використовувати енергію, реагуючи на зміни у складі учнів, внутрішній та зовнішній температур повітря або за встановленим графіком, при цьому забезпечуючи комфортні умови перебування в приміщеннях. Як приклад, міжнародно визнаний норматив ASHRAE [7], регламентує температуру опалення на рівні 21°C з 8:00 до 20:00 в робочі дні, та 15,5°C в всі інші години.

Загалом, останні наукові дослідження вказують на те, що впровадження просунутих систем регулювання в будівлях є перспективним напрямком з точки зору енергоефективності, проте досить мало уваги приділяється шляхам реалізації такого заходу з енергозбереження [8].

В даній роботі пропонується дослідити можливість використання навчального графіку СЗШ як бази для програмування термостатів в навчальних приміщеннях, беручи до уваги комфорт знаходження учнів в приміщеннях при впровадженні такого регулюванні

Обрана тема «Вплив використання розкладу занять для програмування термостатів на енергоспоживання будівлі шкільного закладу» є належною, актуальною та перспективною для подальших наукових досліджень. Дослідження в цьому напрямку спрямоване на створення оптимальних умов опалення, які одночасно гарантують комфорт для учнів та персоналу та сприяють раціональному використанню енергоресурсів. До того ж, дослідження терморегулювання закладів шкільної освіти можуть надати поштовх до впровадження поліпшеного терморегулювання в будівлях з постійним графіком експлуатації, не зважаючи на складність цих графіків.

Постановка завдання. В сучасному світі, де енергоефективність та сталість енергопостачання стають важливими завданнями, вирішення проблем ефективного використання енергії у будівлях є актуальною науковою та практичною задачею. Особливу увагу привертає опалювальний режим будівель, який є ключовим чинником споживання енергії в опалювальний період року.

Метою дослідження є дослідження впливу переривчастих графіків опалення, що базуються на розкладі шкільних занять на енергоефективність будівлі та комфортність перебування людей в приміщеннях, в яких такі графіки використовуються.

Опис об'єкта дослідження. Об'єктом дослідження є імітаційна модель будівлі середньої загальноосвітньої школи, що базується на реально існуючій будівлі СЗШ розташованій в Івано-Франківській області. Школа має три поверхи та типову для шкіл Н-подібну форму. Для моделювання енергетичних процесів та теплового режиму шкільної будівлі, використовувалася програма DesingBuilder, на основі EnergyPlus [9, 10].

Характеристики огорожувальних конструкцій базової моделі:

Стіни: виготовлені з червоної цегли товщиною 0,525м і не мають додаткового шару ізоляції.

Вікна: двокамерними, виготовлені з металопластикового профілю.

Підлога по ґрунту: представлена бетонною плитою товщиною 0,25м, на піщаній підсищі, без додаткової ізоляції.

Дах: складається з бетонної плити товщиною 0,25м, покритої бітумом.

Система опалення прийнята при симуляції – електронагрівачі в кожному приміщенні для зменшення впливу втрат в механічних системах при аналізі. Також, необхідно зазначити, що надходження свіжого повітря відбуваються за рахунок натуральної вентиляції, системи механічної вентиляції та рекуперації відсутня.

Система гарячого водопостачання організована за допомогою електричних водонагрівачів, розташованих безпосередньо біля точок споживання. Важливо зауважити, що ця система призначена лише для задоволення потреб шкільної кухні.

З метою більш широкого дослідження, огорожуючі конструкції будівлі були приведені до мінімальних значень відповідно до вимог ДБН В.2.6-31:2016 та ДБН В.2.6-31:2021 [11, 12], таким чином відображаючи три найбільш типові стани будівель шкільних закладів в Україні. А саме:

- Базова модель – школа що не пройшла термомодернізацію;
- ДБН В.2.6-31:2016 – школа що пройшла термомодернізацію раніше;
- ДБН В.2.6-31:2021 – школа що пройшла сучасну термомодернізацію.

Теплофізичні характеристики огорожувачих конструкцій, що були використані при моделюванні наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій, використані в моделях,
 $Wm/(m^2K)$

Тип огороження	Існуючий стан	ДБН В.2.6-31:2016	ДБН В.2.6-31:2021
зовнішні стіни	0,8	0,303	0,25
вікна	1,67	1,33	1,11
дах	0,89	0,167	0,143

Використання DesignBuilder дозволили проводити динамічне моделювання енергопотребити та енергоспоживання будівлі з урахуванням детального відображення графіків присутності людей. Інші чинники, що враховуються програмою при моделюванні це кліматологія, обладнання та інтенсивність його використання, огорожуючі конструкції будівлі, тип опалення і т.д. 3-D візуалізація будівлі з програми наведена на рисунку 1.

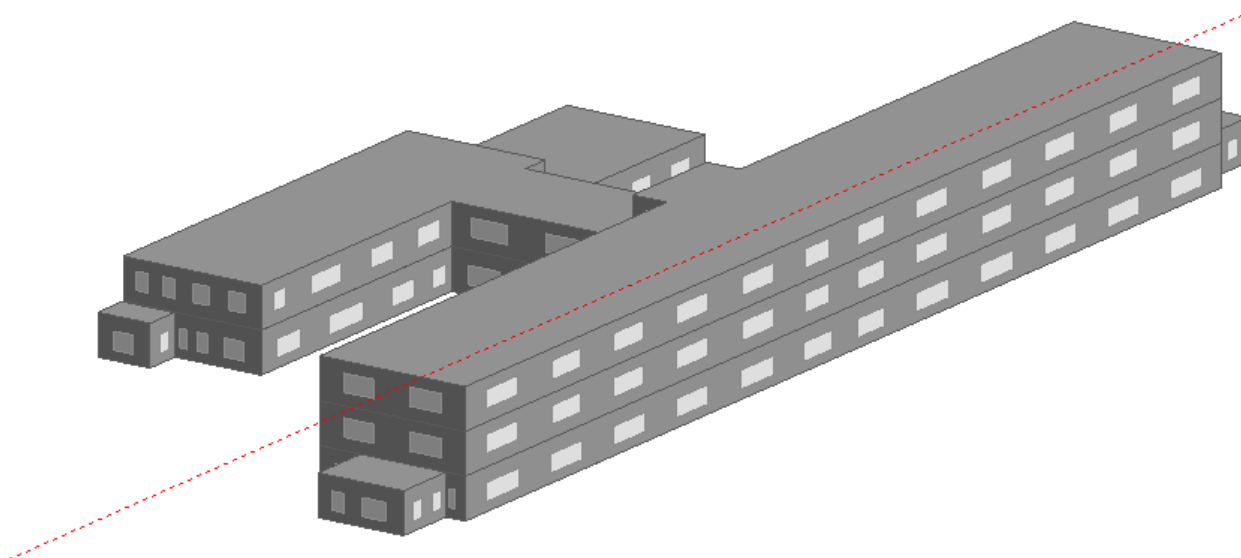


Рис. 1. Модель будівлі у DesignBuilder

В моделі об'єкту дослідження були просимульовані кожне з приміщень як окрема термічна зона з індивідуальним графіком присутності людей, температурою та електричним обладнанням, в залежності від призначення приміщення, всього 149 термічних зон. Це дало змогу максимально точно відобразити реальні умови експлуатації будівлі.

В базовій моделі для кожного з навчальних приміщень були розроблені окремі графіки експлуатації. Опалення не регулюється, задано на постійному рівні 20°C відповідно до [13].

Для другого режиму в графік опалення був доданий провал на 4°C в неробочі години будівлі (навчальний процес відбувається з 8 до 16 години). Величину провалу було обрано як максимально рекомендований за [3].

Для режиму 3, для кожного навчального класу були розроблені графіки використання системи опалення, що відповідають розкладу шкільних занять. В години відсутності людей в приміщеннях, аналогічно для режиму 2 заданий провал в 4°C. Для відображення даного режиму було розроблено 50 індивідуальних графіків опалення, що відповідають реальному розкладу занять школи. В цілому, графік дозволив скоротити часи повного опалення для всіх приміщень загалом з 1500 до 1032 годин на тиждень.

Отже, досліджується три режими:

1. Постійне опалення 20°C.
2. Пониження температури внутрішнього повітря на 4°C в неробочі години.
3. Опалення згідно з розкладом занять, з пониженням температури внутрішнього повітря на 4°C в години відсутності людей.

Результати моделювань. За результатами моделювання було побудовано ряд графіків, що відображають енергоспоживання системою опалення будівлі в річному зрізі для будівлі з тепловим захистом відповідно до реального стану, мінімальних вимог ДБН В.2.6-31:2016 та ДБН В.2.6-31:2021 (рис. 2).

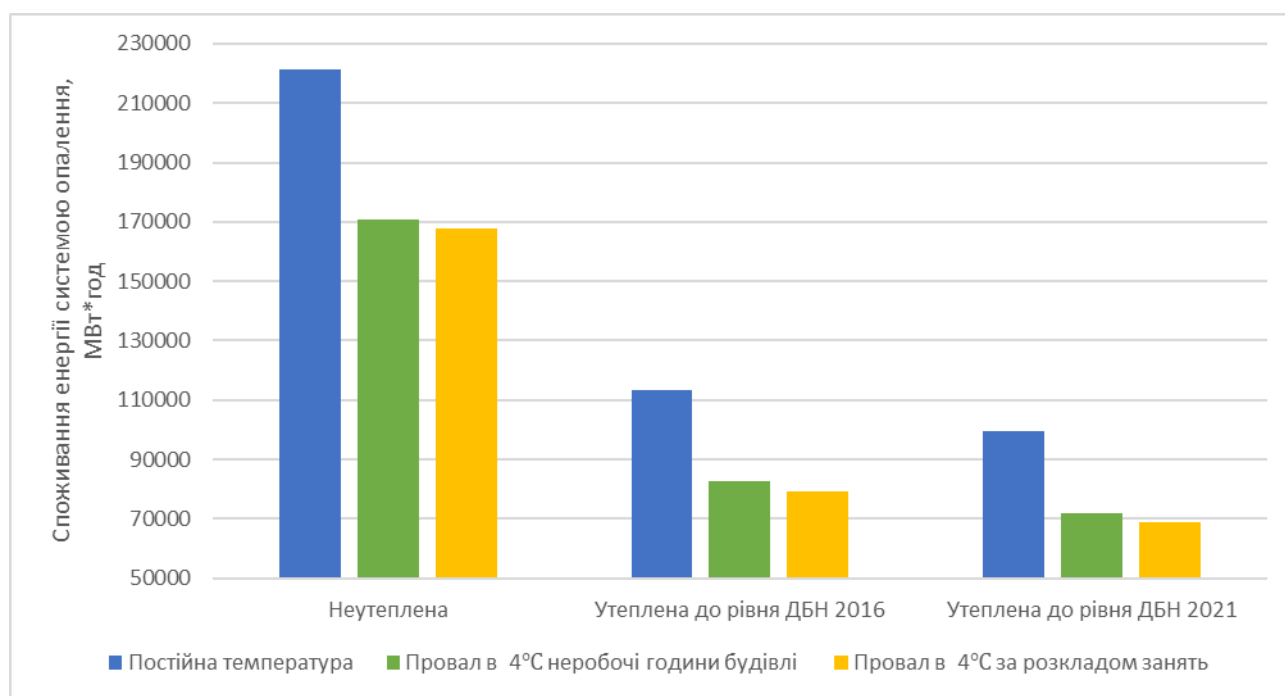


Рис. 2. Річне споживання енергії на опалення

Динамічне моделювання показало, що впровадження графіків опалення значно вплинуло на енергоспоживання в будівлі.

При аналізі різних режимів опалення, було встановлено, що впровадження провалів в неробочі години забезпечує значну економію енергії. Наприклад, у випадку неутепленої будівлі цей підхід дозволив знизити енергоспоживання з 221,29 МВт*год до 170,66 МВт*год, тобто на 22,9%. Це демонструє ефективність адаптації систем опалення до реальних потреб будівлі.

При впровадженні впровадження графіка опалення, який враховує розклад занять, спостерігається додаткове зниження споживання енергії. Для тієї ж неутепленої будівлі споживання знизилося до 167,58 МВт*год.

Згідно з результатами моделювання, режим 3 (графік, що враховує розклад занять) дозволяє зменшити споживання енергії на опалення на 1,8–4,2% відносно режиму 2 (провал в неробочі години), при чому, відносна економія зростає з покращенням рівня ізоляції будівлі.

Для дослідження особливостей індивідуальних днів розкладу, та їх впливу на споживання енергії системою опалення було проведено поденний аналіз енергоспоживання. Осередненні результати моделювання в поденному зрізі наведено на рис. 3, 4 та 5 наведені результати.

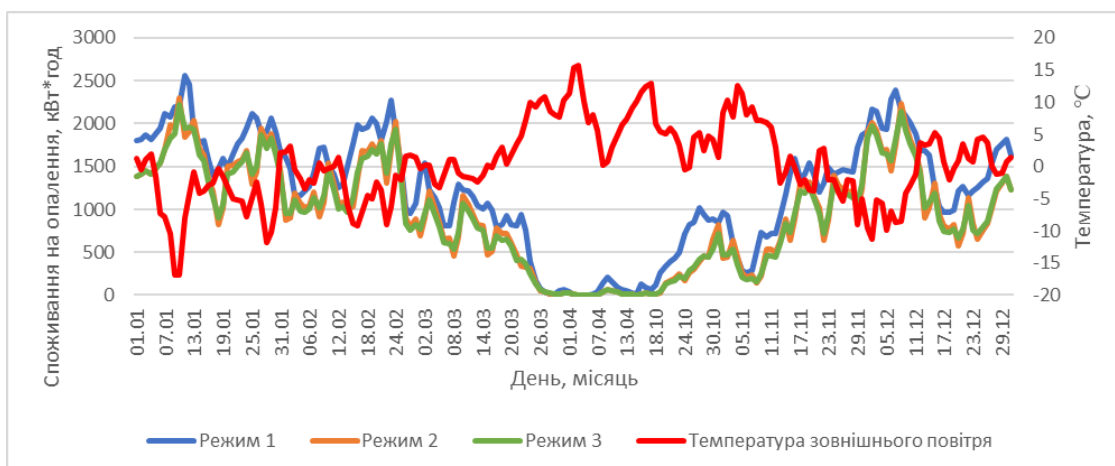


Рис. 3. Поденне споживання енергії на опалення, випадок неутепленої будівлі

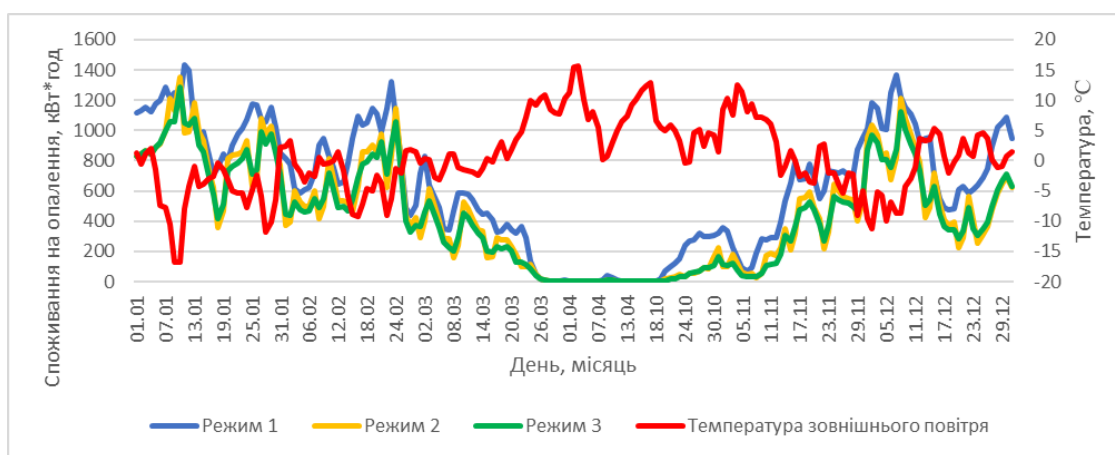


Рис. 4. Поденне споживання енергії на опалення, мінімальне утеплення відповідно до ДБН В.2.6-31:2016

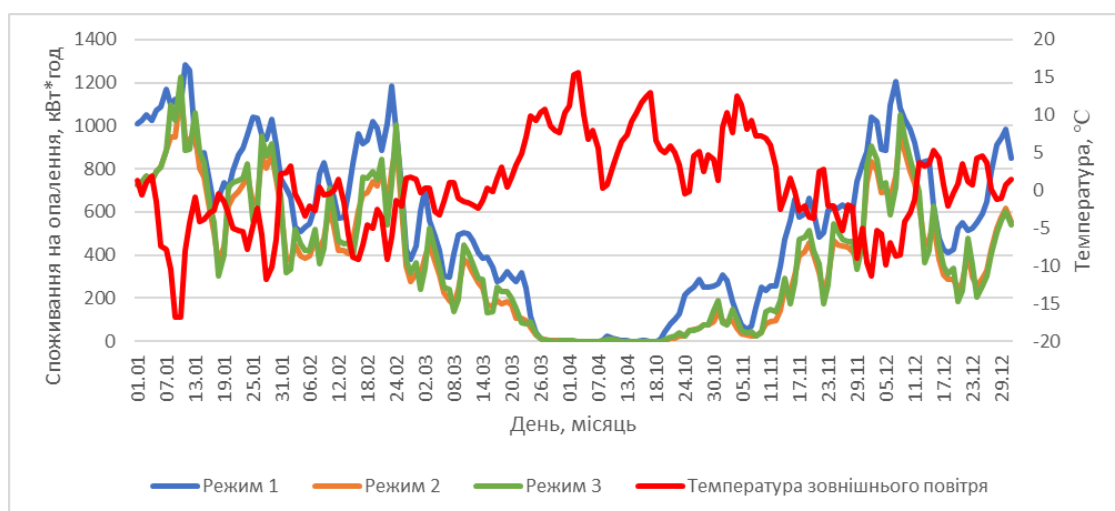


Рис. 5. Поденне споживання енергії на опалення, мінімальне утеплення відповідно до ДБН В.2.6-31:2021

Аналіз поденних результатів аналізу показав наявність додаткових піків споживання в режимах 2 та 3, що подекуди перевищують аналогічні значення для режиму без регулювання.

Аналіз даних показав, що піки виникають в понеділки та післясвяткові дні, що підтверджується й тим, що вони дублюються для обох режимів. Такі піки свідчать про значне навантаження на систему опалення в перехідні періоди (тобто при переході від пониженої, 16°C температури до робочої в 20°C), тобто введення регулювання потребує збільшення потужності опалення.

Для дослідження впливу введених режимів на навантаження на систему опалення, а також на комфортність перебування в приміщеннях було зібрано показники максимальних значень теплової потужності систем опалення для випадків описаних вище. Результати представлені на рис. 6.

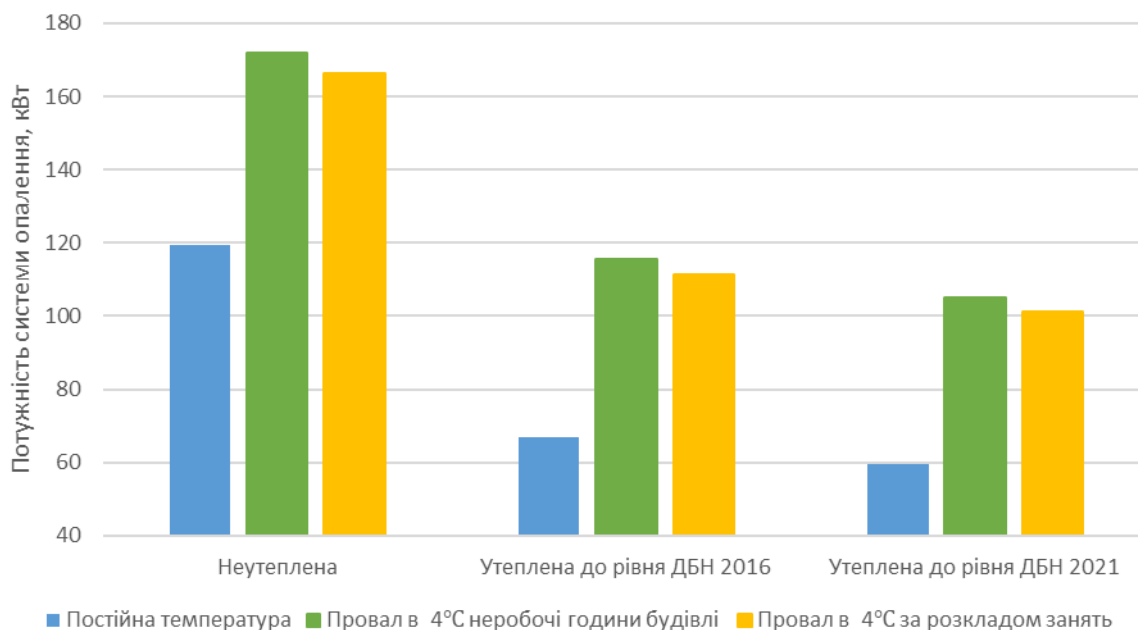


Рис. 6. Потужність системи опалення

Згідно з результатами аналізу, як і очікувалось, утеплення будівлі значно зменшує необхідну потужність системи опалення (в середньому на 36,6% при утепленні до рівня ДБН 2016 та на 42,7% при утепленні до вимог ДБН 2021), а введення переривчастих режимів збільшує необхідну потужність (в середньому на 37,7% при введенні режиму 2 та на 36,5% при введенні режиму 3).

Оскільки впровадження режиму 2 та 3 значно підвищує навантаження на систему опалення для всіх рівнів ізоляваності будівлі, для забезпечення комфортних умов перебування в будівлі може потребуватись заміна системи опалення. Для нівеляції даного ефекту можна розглянути поступове підвищення температури від 16°C до 20°C протягом кількох годин в випадках повернення до навчального процесу після вихідних, свят та канікул.

Також, графік показує, що пікове навантаження для переривчастих режимів опалення в випадку ізольованої будівлі не перевищує дане значення для постійного опалення в випадку неутепленої школи. Таким чином, провадження переривчастих режимів опалення для будівель що проходять термомодернізацію можливе без заміни опалювальних приладів на більш потужні. Це робить комбінацію заходів з утеплення та терморегулювання більш привабливою не лише з енергетичної точки зору, а й з точки зору капітальних затрат.

Режим 2 потребує більшу потужність опалення для будь-якого рівня утеплення будівлі в порівнянні з режимом 3, а саме: на 3,2% для неутепленої будівлі та 3,7% для утеплення до 2016 або 2021 ДБН.

Такі результати можуть бути пояснені тим, що не вся будівля переходить від 16°C до 20°C одночасно. Таке явище може бути використане для оптимізації потужності системи централізованого опалення, в випадку використання специфічного розкладу занять (як приклад, можна розглянути проектування шкільного закладу з централізованою системою опалення, де молодші класи починають навчання пізніше).

Останнім аспектом, який було розглянуто в дослідженні став вплив пониження температури в сусідніх приміщеннях на комфортність перебування дітей в класі, оскільки, пониження температури повітря в сусідніх класах може впливати на радіаційну температуру, та як наслідок на комфортність перебування в приміщенні.

З цією метою, було обрано кутовий клас, що контактує з приміщенням, яке в певний день тижня перебуває в постійному режимі 16°C. Кутове приміщення було обрано для дослідження, як клас, в якому саме радіаційна температура може значно вплинути на комфортність учнів, через великий контакт з зовнішніми стінами. Дослідження проводиться на базі неутепленої будівлі, оскільки такі будівлі є найбільш чутливими до коливань температури, а також зміна показників комфорту в них виділяються найяскравіше. Результати моделювання температур в погодинному зрізі наведені на рис. 7.

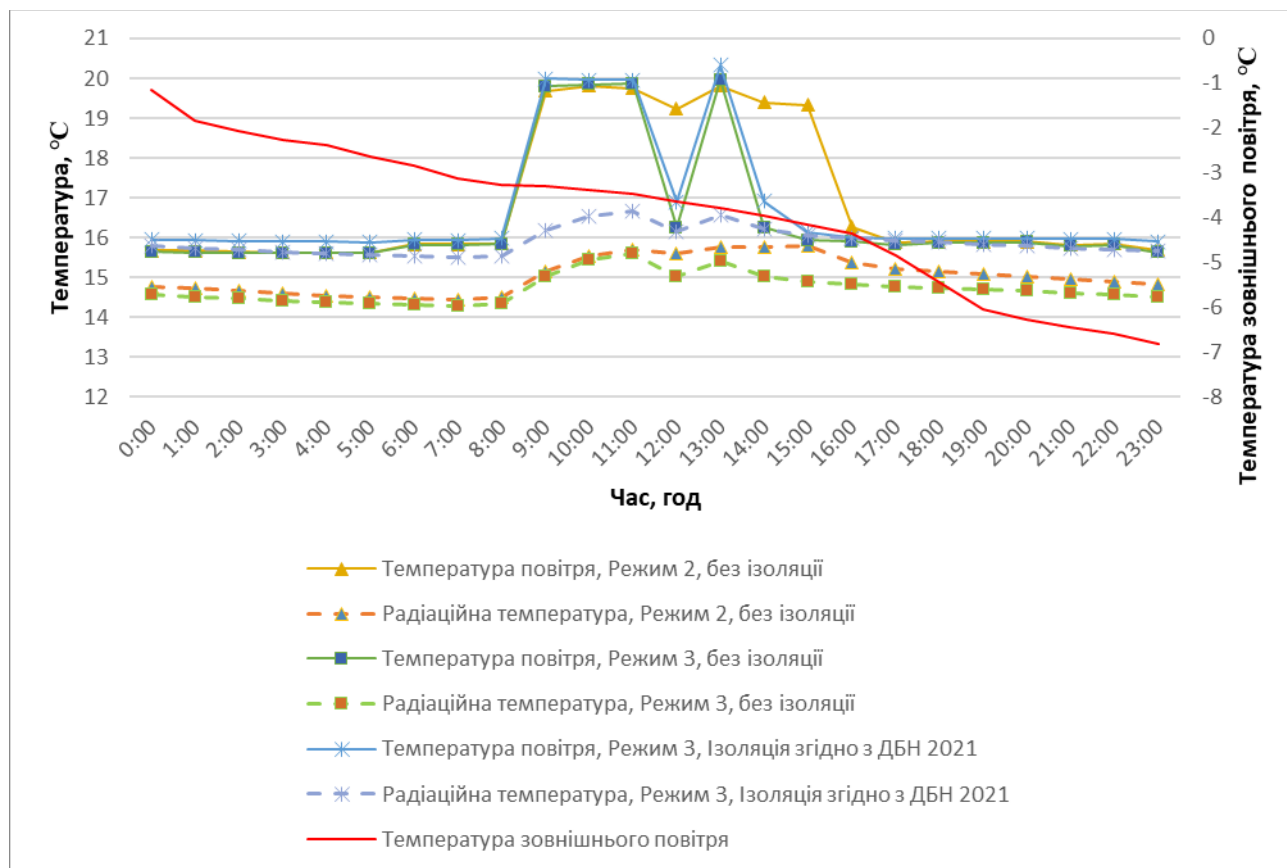


Рис. 7. Вплив сусіднього неексплуатуємого приміщення на комфортність перебування в класі

Аналіз показує незначне пониження радіаційної температури при використанні режиму 3 в порівнянні з режимом 2, яке, втім, не вплине на суб'єктивне сприйняття комфортності.

Додаткова ізоляція підіймає радіаційну температуру приблизно на 1°C, що ще раз підкреслює важливість утеплення будівель, а також дозволяє нівелювати незначне пониження при впровадженні режиму 3.

Висновки. Дослідження, проведене з метою оцінки впливу різних режимів опалення на енергоспоживання та ефективність системи опалення в шкільних будівлях, виявило ряд ключових знахідок.

Аналіз моделювання показав, що імплементація переривчастих режимів опалення забезпечує значне підвищення енергоефективності як для будівель без ізоляції, так і для шкільних закладів, що пройшли термомодернізацію. Впровадження режиму в дозволяє заощадити від 23% до 27% енергії на опалення.

Графік опалення оснований на розкладі занять (режим 3) показав ряд переваг перед простішим графіком з провалами в неробочі години (режим 2), а саме, вищу на понад 3% енергоефективність і зниження пікового навантаження на систему опалення на 3,3–3,7%.

Додатково до переваг названих вище, режим 3 майже не впливає на комфортність перебування в будівлі, в порівнянні з режимом 2.

З іншого боку, режим 3, є досить складним у впровадженні та вимагає сучасного обладнання та щорічного оновлення графіку.

Впровадження режиму 2 та 3 призводить до значного зростання навантаження на опалення для будівель всіх типів ізолюваності, що досліджувались, проте, при впровадженні енергоефективних режимів опалення в ізолюваних до мінімальних вимог ДБН 2016 та 2021 не перевищують потужність системи опалення постійного режиму не ізолюваної будівлі. Дана знахідка дозволяє рекомендувати впроваджувати режим 2 або 3 в будівлях що проходять термомодернізацію, оскільки в такому випадку заміна системи опалення не потребується.

Враховуючи вище сказане, регулювання опалення за розкладом занять в школі є перспективним заходом з енергозбереження для будівель з будь-яким рівнем ізоляції, але при відсутності термосанації, як правило, потребує модернізації системи опалення.

Виявлене зниження навантаження на систему опалення при впровадженні режиму 3 є перспективним напрямком подальшого аналізу, оскільки, потенційно, правильно розроблений графік занять та використання навчальних приміщень (наразі не типовий для Українських шкіл) дозволить зменшити витрати на опалення шкільного закладу без модернізації системи опалення, наприклад, в випадках використання централізованого опалення.

Подібний аналіз буде предметом подальших досліджень.

References

1. Kuzmin, O. V., Kuzmina, O. V., Lysenko, O. V., Stepanenko, O. V. (2021). Analiz vplyvu enerhoefektyvnykh zakhodiv na enerhospozhyvannia budivel osvitnikh ustanov [Analysis of the Impact of Energy-Efficient Measures on the Energy Consumption of Educational Building]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: Economics, Technologies, Ecology*, No. 2, P. 5–15 [in Ukrainian].
2. Deshko, O. V., Bylous, I. Y., Buyak, N. A., Petruchenko, O. V. (2021). Enerhoefektyvnist korotkochasnykh rezhymiv opalennia budivel z riznymy teplofizychnymy kharakterystykamy ohorodzhuvalnykh konstrukttsii [Energy Efficiency of Short-Term Heating Modes in Buildings with Different Thermal Characteristics of Enclosure Structures]. *Visnyk NTUU "KPI". Serii: Mashynobuduvannia = Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". Series: Mechanical Engineering*, No. 2, P. 32–41 [in Ukrainian].

Література

1. Кузьмін О. В., Кузьміна О. В., Лисенко О. В., Степаненко О. В. Аналіз впливу енергоефективних заходів на енергоспоживання будівель освітніх установ. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2021. № 2. С. 5–15.
2. Дешко О. В., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Петрученко О. В. Енергоефективність короткочасних режимів опалення будівель з різними теплофізичними характеристиками огорожувальних конструкцій. *Вісник НТУУ "КПІ". Серія: Машинобудування*. 2021. № 2. С. 32–41.

3. Deshko, V. I., Bylous, I. Y., Buyak, N. A., Petruchenko, O. V. (2020). Analiz vplyvu enerhoefektyvnykh rezhymiv opalennia na enerhospozhyvannia budivel na osnovi matematychnoho modeliuvannia [Analysis of the Impact of Energy-Efficient Heating Modes on the Energy Consumption of Buildings Based on Mathematical Modeling]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia = Energy: Economics, Technologies, Ecology: a scientific journal*, No. 4 (62), P. 32–41 [in Ukrainian].
4. Kepko, O. I., Kuzmin, O. V., Kuzmina, O. V., Lysenko, O. V. (2021). Enerhozberihaiuchi rezhymy roboty system opalennia ta ventyliatsii teplyts [Energy-Saving Operation Modes of Heating and Ventilation Systems in Greenhouses]. *Naukovyi visnyk NTUU = Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine*, No. 2 [in Ukrainian].
5. Deshko, V. I., Bylous, I. Yu., Buyak, N. A., Sapunov, A. O. (2023). Pidvyshchennia rivnia efektyvnosti enerhospozhyvannia v dytiachomu sadku ta yoho vplyv na riven teplovoho komfortu [Improving the Efficiency of Energy Consumption in a Kindergarten and Its Impact on Thermal Comfort]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, No. 2 (13), P. 27–35 [in Ukrainian].
6. Deshko, V. I., Buyak, N. A., Bylous, I. Yu. (2015). Pidbir teplozakhystu ta dzherela tepla z urakhuvanniam komfortnykh umov u budivli [Selection of Thermal Insulation and Heat Sources Considering Comfort Conditions in a Building]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Serii: Tekhnichni nauky = Bulletin of Kyiv National University of Technologies and Design. Series "Technical Sciences"*, No. 5 (90), P. 71–80 [in Ukrainian].
7. Standard 90.1-2022 – Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. *ASHRAE*. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>.
8. Kuznetsov, I. I. (2023). Komp'uterna systema vyznachennia yakosti povitria v prymishchenniakh: diplomna robota bakalavra, spetsialnist 123 Komp'uterna inzheneriia [Computer System for Indoor Air Quality Assessment: Bachelor's thesis, specialty 123 Computer Engineering]. Supervised by D. V. Stacenko. Kyiv: Kyiv National University of Technologies and Design, 2023 [in Ukrainian].
9. DesignBuilder. URL: <https://designbuilder.co.uk/>.
10. EnergyPlus. URL: <https://energyplus.net/>
11. Ministry of Regional Development, Construction, and Housing and Communal Services of Ukraine (2017). DBN V.2.6-31:2016. Konstruktsii budynkiv ta sporud. Teplova izoliatsiia budivel [Building and Structure Designs. Thermal Insulation of Buildings]. 12 p. [in Ukrainian].
3. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Петрученко О. В. Аналіз впливу енергоефективних режимів опалення на енергоспоживання будівель на основі математичного моделювання. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2020. № 4 (62). С. 32–41.
4. Кепко О. І., Кузьмін О. В., Кузьміна О. В., Лисенко О. В. Енергозберігаючі режими роботи систем опалення та вентиляції теплиць. *Науковий вісник НТУУ*. 2021. № 2.
5. Дешко В. І., Білоус І. Ю., Буяк Н. А., Сапунов А. О. Підвищення рівня ефективності енергоспоживання в дитячому садку та його вплив на рівень теплового комфорту. *Технології та інжиніринг*. 2023. № 2 (13). С. 27–35.
6. Дешко В. І., Буяк Н. А., Білоус І. Ю. Підбір теплозахисту та джерела тепла з урахуванням комфортних умов у будівлі. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2015. № 5 (90). С. 71–80.
7. Standard 90.1-2022 – Energy Standard for Sites and Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. *ASHRAE*. URL: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-90-1>.
8. Кузнецов І. І. Комп'ютерна система визначення якості повітря в приміщеннях: дипломна робота бакалавра, спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія. Науковий керівник Д. В. Стаценко. Київ: КНУТД, 2023.
9. DesignBuilder. URL: <https://designbuilder.co.uk/>.
10. EnergyPlus. URL: <https://energyplus.net/>
11. ДБН В.2.6-31:2016. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 12 с.

12. Ministry of Community and Territorial Development of Ukraine (2022). DBN V.2.6-31:2021. Teplova izoliatsiia budivel [Thermal Insulation of Buildings]. 7 p. [in Ukrainian].
13. State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection (2018). Informatsiia pro zdiisnennia derzhavnoho nahliadu v zakladakh osvity shchodo dotrymanna temperaturnoho rezhymu pid chas opaliuvalnoho sezonu [Information on State Supervision in Educational Institutions Regarding Temperature Regime Compliance During the Heating Season. 18.12.2018. URL: <https://dpss.gov.ua/news/pro-zdijsnennya-derzhavnogo-naglyadu-v-zakladakh-osviti-shchodo-dotrimannya-temperaturnoho-rezhymu-v-opalyuvalnij-sezon-stanom-na-10122018> [in Ukrainian].
12. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. Міністерство розвитку громад та територій України, 2022. 7 с.
13. Інформація про здійснення державного нагляду в закладах освіти щодо дотримання температурного режиму під час опалювального сезону. Державна служба України з питань безпеки харчових продуктів та захисту споживачів. 18.12.2018. URL: <https://dpss.gov.ua/news/pro-zdijsnennya-derzhavnogo-naglyadu-v-zakladakh-osviti-shchodo-dotrimannya-temperaturnoho-rezhymu-v-opalyuvalnij-sezon-stanom-na-10122018>.

DESHKO VALERII

Doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-8218-3933>
Scopus Author ID: 6506189670
ResearcherID: J-6517-2017
E-mail: te@kpi.ua

HOLUBENKO OLEKSANDR

Postgraduate
Department of Heat and Alternative Power Engineering,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-1419-4980>
E-mail: agolubenko72@gmail.com

^{1,2}DESHKO V. I., ¹HOLUBENKO O. O.

¹Educational and Research Institute of Thermal and Nuclear Energy,
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

²Institute of Technical Thermophysicists of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine

**THE IMPACT OF USING A CLASS SCHEDULE FOR PROGRAMMING
THERMOSTATS ON THE ENERGY CONSUMPTION OF A SCHOOL BUILDING**

Introduction. Variations in temperature reduction during periods of building inactivity have proven to be an effective energy-saving measure. However, there is still potential for energy savings in the field of thermal regulation, specifically related to more detailed heating schedules. Investigating the advantages and disadvantages of detailed heating schedules for thermostat programming becomes an important direction in the development of modern heating and conditioning systems.

Purpose. The objective of this study is to explore the advantages and disadvantages of implementing a heating schedule based on the school class schedule for the heating system.

Methodology. The research is conducted based on energy modeling using the DesignBuilder software environment.

Findings. The results of the energy modeling of the building included an examination of the impact of implementing a heating schedule based on the school class schedule for buildings with different levels of thermal insulation. The class schedule-based heating schedule demonstrated several advantages over a simpler schedule with gaps during non-working hours, including over 3% higher energy efficiency and a 3.3–3.7% reduction in peak heating system loads.

Scientific novelty. The study investigates the impact of implementing a class schedule-based heating schedule on the energy efficiency of a school building and the comfort of occupants.

Practical value. Considering climate and building characteristics, as well as mitigating the human factor's influence through the use of programmable thermostats, can contribute to the development of effective heating management strategies, leading to significant energy resource savings.

Keywords: energy conservation; building energy modeling; heating schedules, comfort conditions.

УДК 685.34.05

КАРМАЛІТА А. К., ПУНДИК С. І.

Хмельницький національний університет, Україна

СПОСОБИ КОНТРОЛЮ ПОЛОЖЕННЯ ПЛОСКИХ ДЕТАЛЕЙ ВЗУТТЯ ЗА АСИМЕТРІЄЮ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОВЕРХОНЬ

Мета. Системний пошук раціональних та ефективних рішень по створенню пристроїв для контролю положення та орієнтації плоских деталей взуття за асиметрією поверхонь для організації середовища роботи промислових роботів.

Методика. У роботі використано метод системного, теоретичного та порівняльного аналізів. Теоретичні дослідження ґрунтуються на базових положеннях фізики та технології виробництва легкої промисловості.

Результати. Встановлено, що процес орієнтування об'єктів роботизації один із елементів упорядкування середовища, завдання орієнтування включає елементи контролю положення. Тому контроль положення об'єктів роботизації є невід'ємною частиною упорядкування середовища.

Для орієнтації плоских деталей взуття, поряд з контролем положення деталей за геометричними ознаками, необхідний контроль їхнього положення за асиметрією властивостей поверхонь. Існуючі в приладобудуванні та машинобудуванні прилади для контролю положення плоских деталей по асиметрії властивостей поверхонь неможливо застосувати для більшості плоских деталей взуття, оскільки властивості поверхонь цих деталей мають свою специфіку. Досліджені раніше способи контролю положення взуттєвих деталей по асиметрії властивостей поверхонь складні та ненадійні в роботі, оскільки всі вони є багатоступеневими системами, в яких сигнал, отриманий від датчиків контролю, перш ніж дати команду виконавчому механізму, повинен пройти велику трасу через елемент, що порівнює, підсилювач, виконавчий елемент. Кожен із цих ступенів є складним пристроєм і збій у роботі одного з них призводить до порушення працездатності всієї системи.

Тому необхідно створити нові, більш досконалі та надійні способи контролю, провести їх дослідження, спрямовані на одержання чітких рекомендацій та типових методик розрахунку контролюючих пристроїв.

Наукова новизна. Проведено системний аналіз способів контролю положення плоских деталей за асиметрією поверхонь в різних галузях промисловості, Запропоновано класифікацію способів контролю положення плоских деталей в залежності від їх фізико механічних властивостей. Встановлено, що існуючі способи є малоефективними для плоских деталей взуття і є потреба створити нові, більш досконалі та надійні способи контролю.

Практична значимість. Одержані результати досліджень можуть бути використані при проектуванні пристроїв для контролю положення та орієнтації плоских деталей взуття при їх автоматичній подачі на технологічну обробку.

Ключові слова: плоскі деталі; контроль положення; асиметрія поверхонь; автоматичне орієнтування; взуття.

Вступ. Промислові роботи займають все більшу частку в технічному оснащенні підприємств легкої промисловості. Більша частина з них це не адаптивні програмні роботи, які працюють по жорсткій програмі. Менша частина це адаптивні роботи, які мають сенсорні захвати. Якщо для програмних роботів необхідне обов'язкове впорядкування середовища об'єктів обробки то для адаптивних потрібні сенсорні захвати, які будуть розпізнавати положення тих же об'єктів. Як в першому так і в другому випадку необхідно створити системи для контролю положення об'єктів роботизації.

Автоматичне орієнтування плоских деталей у загальному випадку є більш важким завданням, ніж орієнтування деталей форми тіл обертання. Відбувається це тому, що плоскі деталі можуть мати більше різних положень [1, 2].

Автоматичне орієнтування плоских деталей взуття ускладнюється ще рядом причин: невеликою жорсткістю деталей, складністю конфігурації, неточністю розмірів, асиметрією властивостей поверхонь, великою кількістю типорозмірів, парністю деталей і т.д.

Постановка завдання. Необхідність контролю положення плоских деталей взуття по асиметрії властивостей поверхонь в основному обумовлена двома причинами:

1. Наявністю різної фактури, шорсткості та ворсистості лицьової та виворітної сторін деталей.

2. Парністю деталей взуття, тобто наявністю дзеркальних лівої та правої деталей, що виключає заміну контролю за асиметрією властивостей поверхонь відомими способами контролю за геометричними ознаками.

Для підтвердження цього розглянемо приклад, коли необхідно подати шкіряну підосшву на позицію технологічної обробки (ТО) носком вперед і бахтарм'яною стороною вгору (рис. 1).

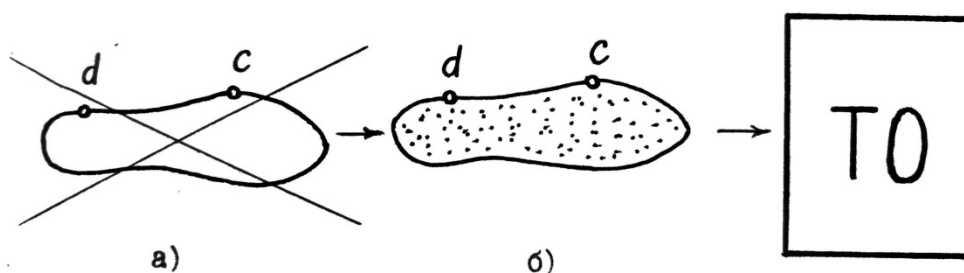


Рис. 1. Можливі положення парних деталей

На рис. 1, б показано ліву підосшву, яка зорієнтована за геометричними ознаками відомими способами [3, 4] і положення якої відповідає поставленому завданню (бахтарм'яною стороною вгору).

На рис. 1, а показана права підосшва тієї ж пари взуття, положення якої за геометричними ознаками аналогічне положенню лівої підосшви, оскільки положення контрольних точок d і c збігається. Але при цьому не виконана друга вимога завдання, оскільки підосшва знаходиться в положенні «бахтарм'яною стороною вниз».

Результати дослідження. У приладобудуванні та машинобудуванні зустрічаються плоскі деталі, що мають в основному два типи асиметрії властивостей поверхонь:

1. Коли одна поверхня має діелектричні властивості, а протилежна металізована.
2. Коли одна поверхня гладка, а протилежна має регулярно розташовані на ній нерівності правильної геометричної форми, (отвори, виступи, виїмки, пази і т.д.). На рис. 2 показані приклади таких деталей: на рис. 2, а – плоска кругла керамічна пластинка, металізована з одного боку, що застосовується для виготовлення радіодеталей; на рис. 2, б – плоска деталь з паралельними прямокутними виступами на одній з поверхонь (наприклад, деталь корпусу інтегральної схеми).

У техніці існують пристрої контролю стану і орієнтування таких деталей [6, 7].

Враховуючи, що деталі взуття виготовляються переважно тільки з діелектричних матеріалів, крім металізованої з одного боку штучної шкіри, що застосовується для спеціального взуття, описаного в [6] пристрій можна застосувати лише в тому випадку, якщо на одну з поверхонь деталі взуття нанести металізовані мітки.

Деякі деталі взуття (наприклад, підосшви та каблучки для спеціального взуття) мають рифлення правильної геометричної форми і для контролю їх положення та орієнтації можуть бути застосовані пристрої, подібні до описаних у [7].

Найбільш близькими та прийнятними для взуттєвого виробництва є відомі у техніці пристрої для контролю положення та орієнтування плоских деталей, описані в роботах [8, 9].

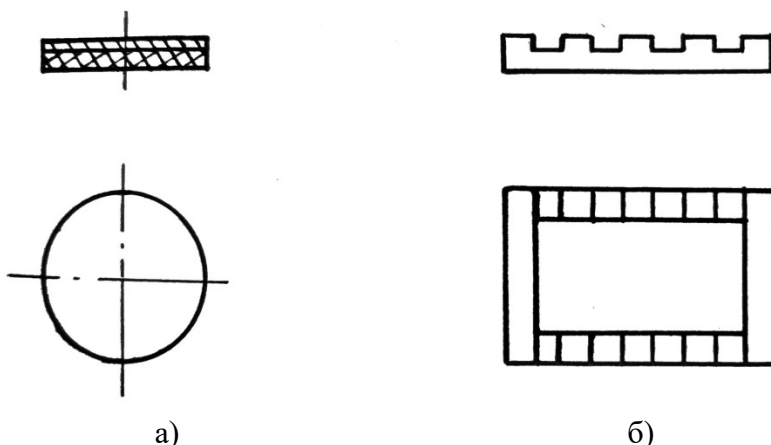


Рис. 2. Приклади деталей, що мають різні характеристики поверхонь, що застосовуються у приладобудуванні

На рис. 3 зображена схема пристрою для контролю положення та орієнтування плоских об'єктів роботизації (зокрема кахельних плиток) за фрикційними властивостями поверхонь.

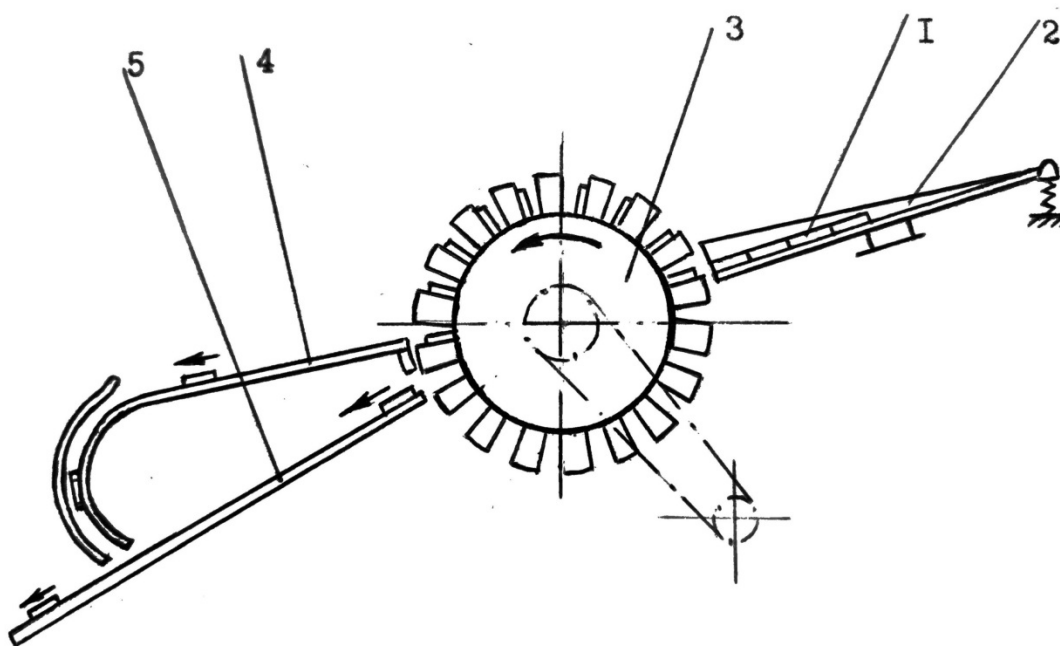


Рис. 3. Схема пристрою для контролю положення та орієнтування плоских деталей за фрикційними властивостями поверхонь

Плитка 1 переміщається по вібрлотку 2 і потрапляє в комірку барабана 3. Барабан повертається і переносить плитку на протилежну сторону. Залежно від кута нахилу стінки комірки барабана та горизонтальної площини та коефіцієнта тертя поверхні плитки об поверхню стінки комірки, плитка, ковзаючи по стінці, потрапляє не переорієнтовний лоток 4 або лоток 5 і далі переміщається в орієнтованому положенні.

Такий пристрій можна застосувати у взуттєвому виробництві за умови роботи з деталями, поверхні яких мають суттєву різницю та незначні коливання величини коефіцієнтів тертя протилежних сторін. В іншому випадку важке їх орієнтування та розрахунок положення лотків 1 та 2 відносно барабана. Крім того, деталі мають бути досить жорсткими.

На рис. 4 зображена схема пристрою для орієнтованої подачі деталей з різною шорсткістю поверхонь [9].

Деталі 1 з вібробункера 2 переміщуються по вібрлотку 3, якому є вікно 4. Механізм контролю положення складається з нескінченної стрічки, виконаної з полімерного матеріалу, що електризується (наприклад, поліуретану), що переміщається за допомогою великого шківів 6 і малого 7 над вікном вібрлотка. Під вікном є ролик 10, що обертається, який притискає деталі до нескінченної стрічки. Якщо деталі притиснуться до стрічки гладкою поверхнею, то вони утримуються на ній за рахунок ефекту вакуумно-молекулярного зчеплення, переносяться на лоток і скидаються в орієнтованому положенні у вібробункер. Правильно орієнтовані деталі переміщуються по вібрлотку в робочу зону промислового робота 9. Пристрій можна застосувати для контролю за положенням дрібних взуттєвих деталей, наприклад, прикрас зі штучних матеріалів з лакованою лицьовою поверхнею.

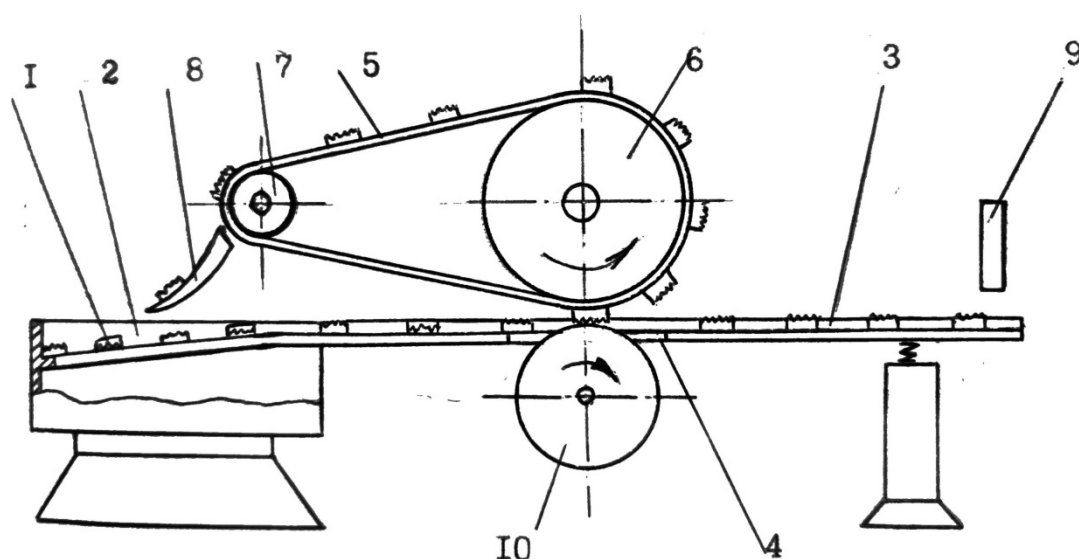


Рис. 4. Схема пристрою для орієнтованої подачі деталей із різною шорсткістю поверхонь

Нам відома лише одна робота [5], яка присвячена дослідженню деяких властивостей поверхонь взуттєвих деталей, а також деяких способів контролю положення деталей по асиметрії властивостей поверхонь.

У ній зазначається, що найбільш характерними властивостями поверхонь плоских взуттєвих деталей, які можуть бути використані при розпізнанні лицьового і виворітного шару, слід враховувати щільність, пружність, колір, профіль, фактуру, електропровідність, а також здатність деяких матеріалів створювати заряд статичної електрики при зіткненні з діелектриками.

У запропонованих способах контролю збирання інформації про фактичне положення деталі здійснюють чутливі елементи датчики, що реагують на ті чи інші характеристики деталей. Отриману інформацію контрольні органи (КО) перетворюють на сигнал, який потім передається на виконавчі органи сепаруючих, переорієнтовуючих або виконуючих операції іншого виду пристроїв. Таким чином, сигнал, що отримується контрольними органами, є керуючим для наступних органів, механізмів або пристроїв.

При автоматичному контролі положення деталі за властивостями поверхонь можуть використовуватися датчики, принцип дії яких залежить від матеріалу деталі, властивостей поверхонь та етапу технологічного процесу.

Якщо всі деталі мають різну фактуру, ворсистість або шорсткість поверхонь, то можуть бути використані електростатичний (рис. 5), термоелектричний (рис. 6) і фотоелектричний (рис. 7) способи.

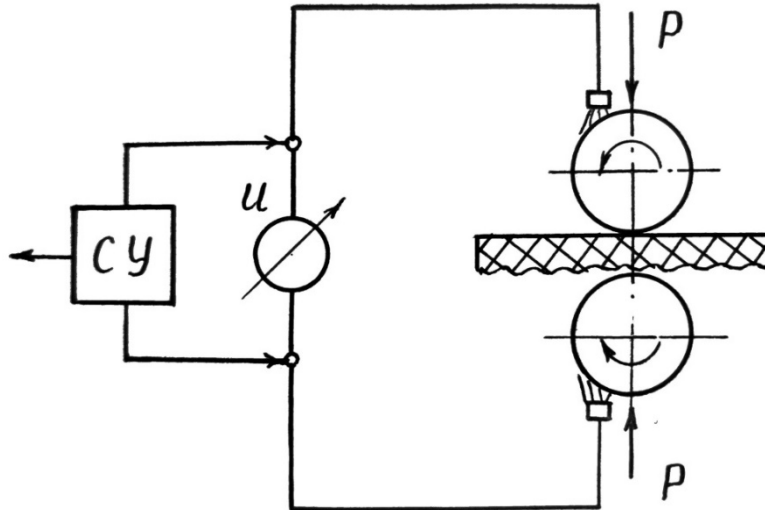


Рис. 5. Схема електростатичного способу контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

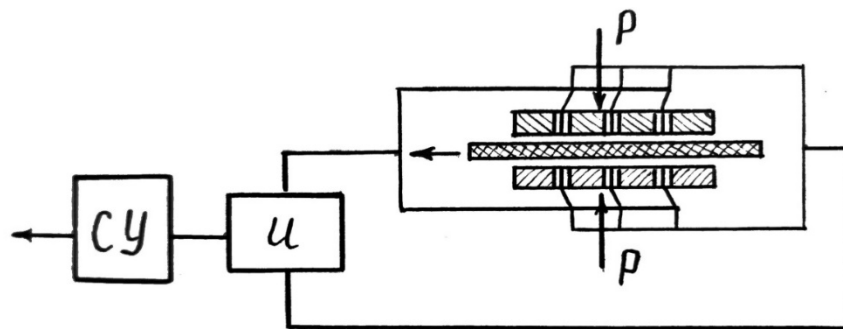


Рис. 6. Схема термоелектричного способу контролю за положенням плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

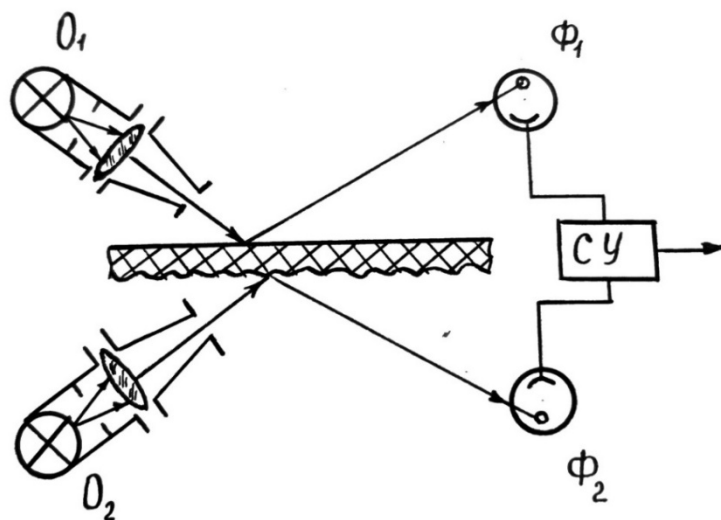


Рис. 7. Схема фотоелектричного способу контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

Коли контролю за асиметрією властивостей поверхонь підлягають деталі, що мають різну щільність сторін, а отже, різну опірність входженню в неї голки або кульки, можна використовувати індуктивний, індукційний, ємнісний, реостатний, електронний способи (рис. 8).

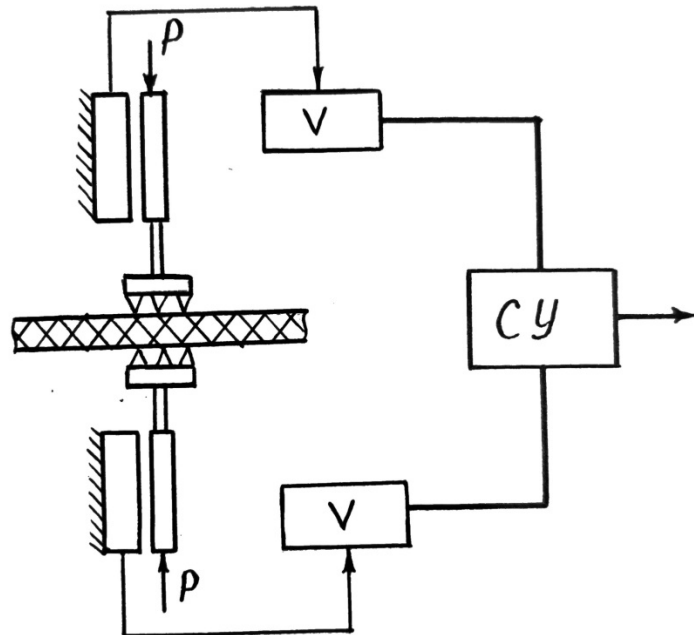


Рис. 8. Схема індуктивного способу контролю стану плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

При контролі положення деталей, що володіють різною пружністю лицьового та виворітного шару, можна використовувати акустичний спосіб із застосуванням ультразвукових датчиків, оскільки такі поверхні по різному поглинають і відбивають звукові хвилі (рис. 9).

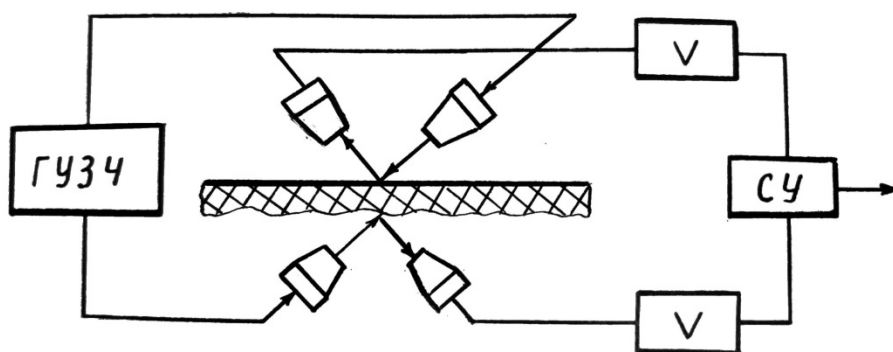


Рис. 9. Схема ультразвукового способу контролю положення плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

Проведені в роботі [5] дослідження показали такі можливості використання омичних опорів поверхневих шарів деталі для контролю положення її за властивостями поверхонь.

В якості датчиків у цьому випадку використовувалися датчики спеціальної конструкції (рис. 10). Однак усі ці способи, описані в роботі [5] мають ряд недоліків.

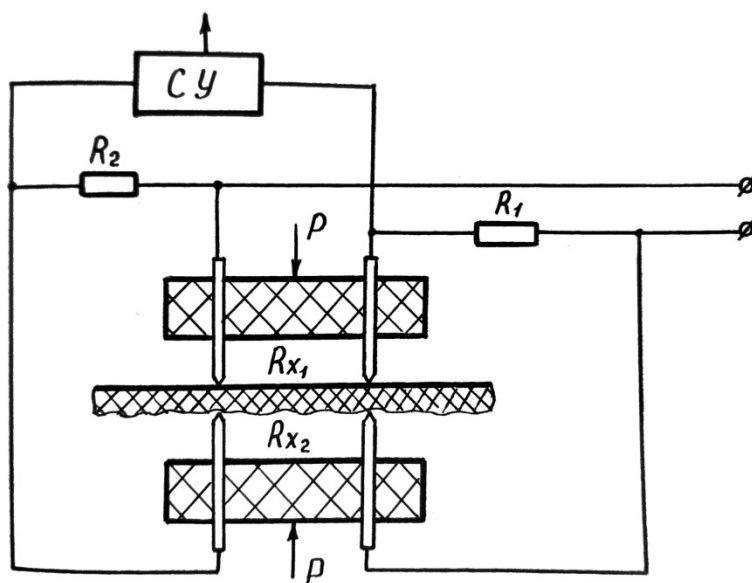


Рис. 10. Схема тензометричного способу контролю за положенням плоских деталей взуття за властивостями поверхонь

Електростатичний спосіб [10] придатний тільки для сухих волокнистих матеріалів – діелектриків. При реалізації термоелектричного способу має місце короткий термін служби датчиків, так як головки термопар в результаті тертя деталь швидко зношуються. Фотоелектричний спосіб важко реалізувати у виробничих умовах у зв'язку із запиленістю. При використанні акустичних датчиків важко виключити шкідливу дію ультразвукових хвиль на людину. Спосіб з використанням омичних датчиків придатний тільки для зволжених деталей, покритих клейовою плівкою або сухих з наявністю вологої клейової плівки.

Крім зазначених недоліків, усі вони мають також три загальні, значні недоліки:

- 1) висока вартість через використання складних і дорогих пристроїв;
- 2) складність в експлуатації, оскільки потрібні висококваліфіковані спеціалісти для їх налагодження та обслуговування;
- 3) недостатня надійність, оскільки сигнал, отриманий від датчиків контролю, повинен пройти велику трасу до виконавчого органу, через порівнювальну систему, підсилювач, виконавчий механізм, що ускладнює пристрій та знижує надійність способу, так як збої в роботі окремих елементів призводять до низької працездатності способу в цілому або, у деяких випадках, його повній відмові.

Механічні способи контролю положення плоских деталей взуття по властивостях поверхонь засновані на використанні асиметрії їх фрикційних властивостей або величини нерівностей поверхонь є більш простими та надійними. В окремому випадку в процесі контролю положення за допомогою пристроїв, що реалізують ці способи, можливо одночасне транспортування деталі на робочу позицію технологічного устаткування або на позицію переорієнтування [2].

Нами запропоновано спосіб контролю положення плоских деталей взуття за допомогою струменів повітря, на який отримано патент на винахід [11]. Для проектування пристроїв, які реалізують цей спосіб, необхідно виконати наукові дослідження з метою виявлення всіх факторів та параметрів, що впливають на процес контролю.

Висновки:

1. Процес орієнтування об'єктів роботизації одна із елементів упорядкування середовища; завдання орієнтування включає елементи контролю положення. Таким чином,

контроль за положенням об'єктів роботизації є невід'ємною частиною упорядкування середовища.

2. Для орієнтації плоских деталей взуття, поряд з контролем положення деталей за геометричними ознаками, необхідний контроль їхнього положення за асиметрією властивостей поверхонь.

3. Існуючі в приладобудуванні та машинобудуванні прилади для контролю положення плоских деталей по асиметрії властивостей поверхонь неможливо застосувати для більшості плоских деталей взуття, оскільки властивості поверхонь цих деталей мають свою специфіку.

4. Досліджені раніше способи контролю положення взуттєвих деталей по асиметрії властивостей поверхонь складні та ненадійні в роботі, оскільки всі вони є багатоступеневими системами, в яких сигнал, отриманий від датчиків контролю, перш ніж дати команду виконавчому механізму, повинен пройти велику трасу через елемент, що порівнює, підсилювач, виконавчий елемент. Кожен із цих ступенів є складним пристроєм і збій у роботі одного з них призводить до порушення працездатності всієї системи.

5. Необхідно створити нові, більш досконалі та надійні способи контролю, провести їх дослідження, спрямовані на одержання чітких рекомендацій та типових методик розрахунку контролюючих пристроїв.

References

Література

1. Muliar, Yu. I., Repinskyi, S. V. (2020). Avtomatyzatsiia vyrobnytstva v mashynobuduvanni: navchalnyi posibnyk [Automation of production in mechanical engineering: study guide]. Vinnytsia: VNTU. Part II. 123 p. [in Ukrainian].
1. Муляр Ю. І., Репінський С. В. Автоматизація виробництва в машинобудуванні: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2020. Частина II. 123 с.
2. Karmalita, A. K., Pundyk, S. I., Drapak, H. M., Melnyk, V. I. (2022). Analiz mekhanichnykh sposobiv kontroliu polozhennia ploskykh detalei vzuttia po vlastyivostyakh poverkhon [Analysis of mechanical methods of controlling the position of flat shoe parts by surface properties]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu = Bulletin of the Khmelnytskyi national university*, No. 3, P. 194–198 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3-194-198>.
2. Кармаліта А. К., Пундик С. І., Драпак Г. М., Мельник В. І. Аналіз механічних способів контролю положення плоских деталей взуття по властивостях поверхонь. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2022. № 3. С. 194–198. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2022-309-3-194-198>.
3. Konoval, V. P., Harkavenko, S. S., Svistunova, L. T. (2010). Universalnyi dovidnyk vzuttievyka [A universal guide for a shoemaker]. Kyiv: Libra. 720 p. [in Ukrainian].
3. Коновал В. П., Гаркавенко С. С., Свістунова Л. Т. Універсальний довідник взуттєвика. К.: Лібра, 2010. 720 с.
4. Konoval, V. P., Svistunova, L. T., Oliinykova, V. V. (2003). Tekhnolohiia vzuttievoho vyrobnytstva: pidruchnyk dlia uchniv profesiino-tekhn. navchalnykh zakladiv [Technology of shoe production: a textbook for students of professional and technical. educational institutions]. Kyiv: Lybid. 368 p. [in Ukrainian].
4. Коновал В. П., Свістунова Л. Т., Олійникова В. В. Технологія взуттєвого виробництва: підручник для учнів професійно-технічних навчальних закладів. К.: Либідь, 2003. 368 с.
5. Semenikhina, L. F. (1972). Kontrol polozheniya detaley po svoystvam poverkhnostey: dissertatsiya kand. tekhn. nauk. [Control of the position of parts according to surface properties: Ph. D. dissertation technical sciences]. Kyiv. [in Russian].
5. Семенихіна Л. Ф. Контроль положення деталей по свойствам поверхностей: диссертация канд. техн. наук. К., 1972.
6. A.s. 699582 SSSR, MPK H01G 13/00. Ustroystvo dlya sortirovki zagotovok radiodetaley [Device for sorting blanks of radio components]. A. D. Astakhov, I. N. Goltsov,
6. А.с. СРСР 699582, МПК H01G 13/00. Устройство для сортировки заготовок радиодеталей. А. Д. Астахов, И. Н. Гольцов, Г. С. Рычков, Э. А. Жилин (СССР).

- G. S. Rychkov, E. A. Zhilin. No. 2341555; заявл. 05.04.76; опубл. 05.04.76; опубл. 25.11.79, Вjul. No. 43 [in Russian].
7. A.s. 999188 SSSR, MPK H05K 13/02. Ustroystvo dlya orientatsii detaley, preimushchestvenno ploskikh s parallelnymi pryamougolnymi vystupami na odnoy iz ploskostey [A device for orienting parts, predominantly flat with parallel rectangular protrusions on one of the planes]. V. N. Luzay. No. 3336668; заявл. 09.09.81; опубл. 23.02.83, Вjul. No. 7 [in Russian].
8. A.s. 389998 SSSR, MPK B65G 47/24. Ustroystvo dlya orientatsii ploskikh izdeliy [Device for orienting flat products]. V. L. Kokotov, V. G. Letunovskiy. No. 1642860; заявл. 19.04.71; опубл. 11.07.73, Вjul. No. 30 [in Russian].
9. A.s. 1048527 SSSR, MPK N01G 13/00. Ustroystvo dlya orientirovannoy podachi detaley [Device for oriented feeding of parts]. P. A. Shevinov, N. P. Balovnev. No. 3442681; заявл. 24.05.82; опубл. 15.10.83, Вjul. No. 28 [in Russian].
10. Suslikov, L. M., Studeniak, I. P. (2016). Neruinivni metody kontroliu: navchalnyi posibnyk [Non-destructive control methods: a study guide]. Uzhhorod: UzhNU. 192 p. [in Ukrainian].
11. Patent of Ukraine № 154403 UA, MPK V65N 3/08 (2006.01) Sposib oriientovanoi podachi na obrobku ploskykh detalei z riznoiu shorstkistiю poverkhon [The method of oriented feeding for processing flat parts with different surface roughness]. A. K. Karmalita, S. I. Pundyk. № 2023 02942; zaiavl. 16.06.2023; opub. 08.11.2023, Biul. № 1. 3 p. [in Ukrainian].
- № 2341555/18-21; заявл. 05.04.76; опубл. 25.11.79, Бюл. №43.
7. А.с. СРСР 999188, МПК H05K 13/02. Устройство для ориентации деталей, преимущественно плоских с параллельными прямоугольными выступами на одной из плоскостей. В. Н. Лузай (СССР). № 3336668/18-21; заявл. 09.09.81; опубл. 23.02.83, Бюл. № 7.
8. А.с. СРСР 389998, МПК B65G 47/24. Устройство для ориентации плоских изделий. В. Л. Кокотов, В. Г. Летуновский (СССР). № 1642860/29-33; заявл. 19.04.71; опубл. 11.07.73, Бюл. №30.
9. А.с. СРСР 1048527, МПК H01G 13/00. Устройство для ориентированной подачи деталей. П. А. Шевинов, Н. П. Баловнев (СССР). № 3442681/18-21; заявл. 24.05.82; опубл. 15.10.83, Бюл. № 28.
10. Сусліков Л. М., Студеняк І. П. Неруйнівні методи контролю: навчальний посібник. Ужгород: УжНУ, 2016. 192 с.
11. Патент на корисну модель 154403 UA, МПК В65Н 3/08 (2006.01) Спосіб орієнтованої подачі на обробку плоских деталей з різною шорсткістю поверхонь. А. К. Кармаліта, С. І. Пундик. № 2023 02942; заявл. 16.06.2023; опуб. 08.11.2023, Бюл. № 1. 3 с.

KARMALITA ANATOLIИ

Candidate of Sciences in Engineering (PhD), Associate Professor, Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Energy Systems, Khmelnytskyi National University, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-4397-2988>
E-mail: akarmalita89@gmail.com

PUNDYK SERHIИ

Department of Machines and Apparatus, Electromechanical and Energy Systems, Khmelnytskyi National University, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-5832-5527>
E-mail: sera88p@gmail.com

KARMALITA A. K., PUNDYK S. I.

Khmelnytskyi National University, Ukraine

METHODS OF CONTROLLING THE POSITION OF FLAT PARTS OF SHOE BY ASYMMETRY OF THE SURFACE PROPERTIES

Purpose. A systematic search for rational and effective solutions for the creation of devices for controlling the position and orientation of flat parts of shoes according to the asymmetry of the surfaces for the organization of the working environment of industrial robots.

Methodology. The method of systematic, theoretical and comparative analyzes was used in the work. Theoretical studies are based on the basic principles of physics and technology of light industry production.

Findings. It was established that the process of orienting robotic objects is one of the elements of environmental organization; the orientation task includes position control elements. Therefore, control of the position of robotics objects is an integral part of the organization of the environment.

For the orientation of flat shoe parts, along with the control of the position of the parts according to geometric features, it is necessary to control their position according to the asymmetry of the surface properties. The devices for controlling the position of flat parts based on the asymmetry of the surface properties existing in instrument and mechanical engineering cannot be applied to most of the flat parts of shoes, since the properties of the surfaces of these parts have their own specificity. The previously investigated methods of controlling the position of shoe parts by the asymmetry of the surface properties are complicated and unreliable in operation, since they are all multi-stage systems in which the signal received from the control sensors, before giving a command to the actuator, must pass a long route through the comparing element, amplifier, executive element. Each of these stages is a complex device, and a malfunction of one of them leads to a malfunction of the entire system.

Therefore, it is necessary to create new, more advanced and reliable methods of control, to conduct their research aimed at obtaining clear recommendations and typical methods of calculating control devices.

Originality. A systematic analysis of the methods of controlling the position of flat parts according to the asymmetry of surfaces in various industries was carried out. The classification of methods of controlling the position of flat parts depending on their physical and mechanical properties was proposed. It has been established that the existing methods are ineffective for flat shoe parts and there is a need to create new, more advanced and reliable control methods.

Practical value. The obtained research results can be used in the design of devices for controlling the position and orientation of flat parts of shoes during their automatic submission to technological processing.

Keywords: flat parts; position control; surface asymmetry; automatic orientation; shoes.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.6>

УДК 620.
179.16

¹КРЮКОВА О. А., ²ПАВЛІЙ О. В., ³ГЛАБЕЦЬ С. М., ³КУХТА І. Я.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²НВФ «Діагностичні прилади», Київ, Україна

³ТОВ «Науково-виробнича фірма «Ультракон», Київ, Україна

ЗАСТОСУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ТА РАДІОГРАФІЧНОГО МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА

Мета. З'ясувати можливості використання акустичного та радіографічного методів неруйнівного контролю для виявлення дефектів у виробках електронно-променевої наплавки з титану, сталі, вольфраму, молібдену та бронзи, а також визначити оптимальні технології і параметри контролю.

Методика. Порівняльний контроль акустичного дослідження проводився контактними перетворювачами, поздовжніми (компресійними) ультразвуковими хвилями наступних частот/діаметрів робочої поверхні: 2 МГц/24мм; 2,5 МГц/10мм і 5 МГц/14мм. Радіографічне дослідження проводилось за технологією класичної плівкової радіографії та DR (цифрова пряма радіографія).

Результати. Показано, що ультразвуковий та радіаційний методи контролю дозволяють провести оцінку якості виробів адитивних технологій відповідно до нормативних документів.

Наукова новизна. За результатами досліджень зроблені рекомендації щодо використання методів неруйнівного контролю для виявлення дефектів та механічних властивостей готових виробів.

Практична значимість. Використання сучасних ультразвукових дефектоскопів з фазованими антенними решітками (ФАР), з одночасним використання режимів TFM (Total Focusing Method) і FMC (Full Matrix Capture) для виявлення дефектів довільної орієнтації, розташованих на різній глибині є перспективним для дослідження якості виробів адитивних технологій.

Ключові слова: адитивні технології; неруйнівний контроль; акустичний метод; радіографічний метод.

Вступ. У теперішній час адитивні технології знаходять застосування практично в усіх сферах людської діяльності. Серед них є: виробництво, медицина, наука, мистецтво та ін. Найбільш широкого застосування 3D технології отримали у машинобудуванні. Новітні технології досить активно застосовуються у разовому та дрібносерійному виробництві, а також впроваджуються для виготовлення деталей складної форми, наприклад лопаток турбін, крильчаток та ін. Виробники такої продукції відзначають високий рівень властивостей металу виробів у зв'язку з формуванням дрібнозернистої структури, яка може бути оцінена розміром зерна, що відповідає 6–10 номерів [1].

При використанні 3D технологій для виготовлення деталей з тугоплавких металів і сплавів ($T_{пл} > 2000^{\circ}\text{C}$) виникають проблеми високого градієнту температур, що призводить до утворення внутрішніх напружень у металі, і як наслідок до дефектів. Щодо тугоплавких металів, то відома невелика кількість робіт, у яких наведено інформацію про застосування 3D технологій для отримання виробів з молібдену, танталу, вольфраму [2, 3].

Розвиток сучасних адитивних технологій виробництва потребує нових або адаптації вже існуючих методів контролю якості готової продукції. Металеві та неметалеві вироби, які виготовлені методом 3D-друку, лазерної або електронно-променевої наплавки вимагають нових методів досліджень якості готової продукції та розробки критеріїв, за якими можливо оцінити дефекти у виробках складної форми.

Для виявлення дефектів у виробках останнього десятиліття, оцінки фізичних, механічних властивостей та прогнозування строку експлуатації виробу вже використовуються надійні та сучасні та методи неруйнівного контролю (НК) [4–6].

Постановка завдання. Переважну більшість вже існуючих методів контролю цілком можливо застосовувати і для контролю продукції адитивного виробництва (АМ). Найважливішим дефектом, який потрібно виявити в металевих виробках адитивного виробництва є пористість. Пористість у виробках АМ виступає як місце концентрації напружень, що призводить до виникнення тріщин та зменшення несучої спроможності матеріалів.

Метою роботи було з'ясувати можливості та межі застосування класичних методів НК (радіографічний, акустичний) для контролю таких дефектів, як пористість та несучільність після електронно-променевої наплавки з титану, сталі, вольфраму, молібдену та бронзи, а також визначити оптимальні технології і параметри контролю.

Результати досліджень. Для акустичного методу НК досліджувані зразки були виготовлені з вольфраму та молібдену, одержані технологією комбінованого плазмово-індукційного нагріву для вирощування монокристалічних пластин, заготовок для широкоформатної монокристалічної прокатки, монокристалічних зливків і тиглів [7, 8].

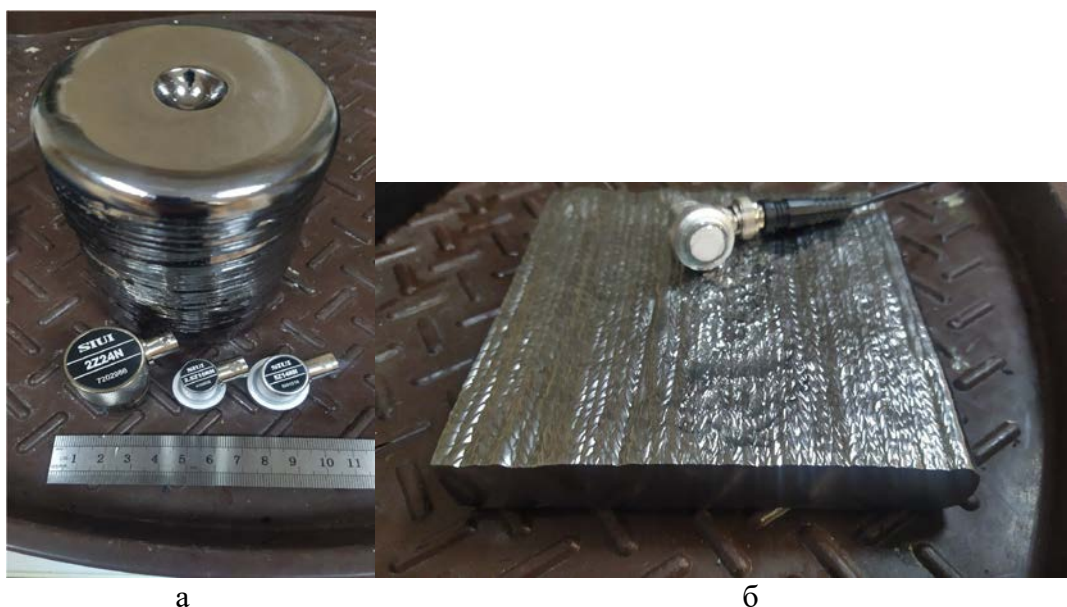


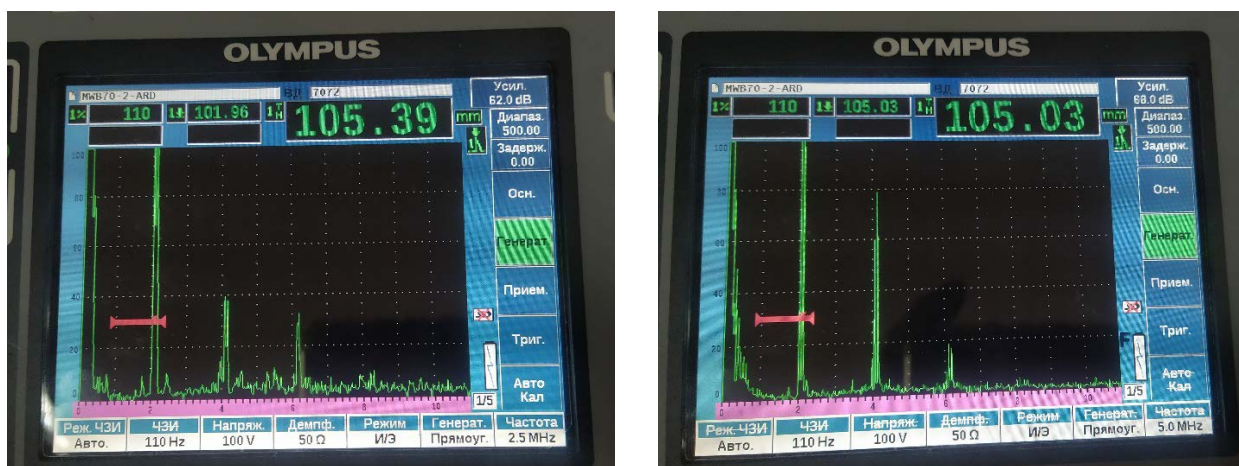
Рис. 1. Зразок з вольфраму (а) та молібдену (б)

Порівняльний контроль проводився контактними перетворювачами, поздовжніми (компресійними) ультразвуковими хвилями наступних частот/діаметрів робочої поверхні: 2 МГц/24мм; 2,5 МГц/10мм і 5 МГц/14мм.

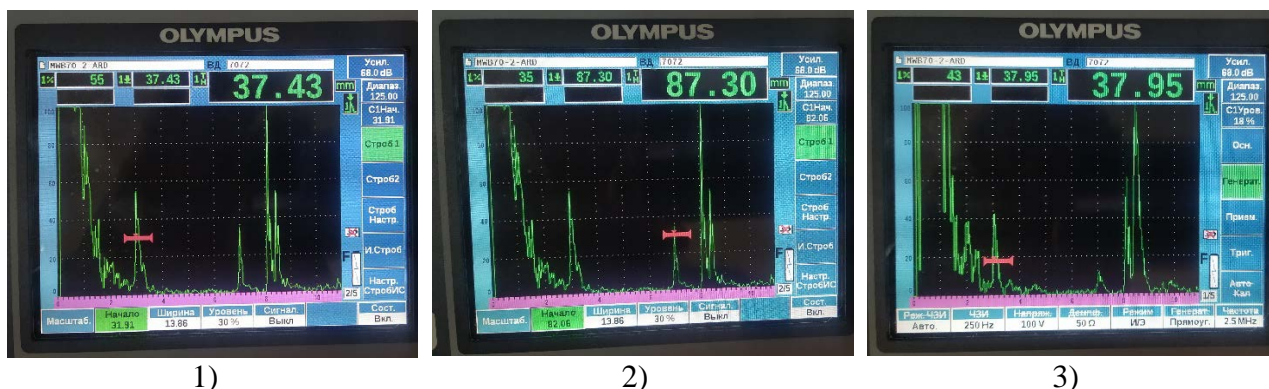
За результатами контролю луна-імпульсним методом, прямими контактними перетворювачами різної частоти зафіксована наявність донних сигналів. Наявність повторень донних сигналів на розгортці свідчить про порівняно незначне затухання ультразвукових коливань у зразку, та як результат – гарну контролепридатність, що обмежується тільки станом поверхні та формою зразка. Перетворювач з частотою 5 МГц забезпечив краще співвідношення сигнал-шум без втрати амплітуди корисного сигналу (рис. 2).

Під час сканування поверхні циліндричного зразка виявлені індикації на різній глибині, що можуть свідчити про наявність дефектів (рис. 3).

За результатами акустичних досліджень можна зробити висновок, що металеві зразки адитивного виробництва є контролепридатними для ультразвукового методу контролю. Кращі результати продемонстрував перетворювач з робочою частотою 5МГц, що може бути пов'язано з відносно невеликим розміром дефектів.



1) 2)
Рис. 2. Донні сигнали: 1) перетворювач з частотою 2,5 МГц;
2) перетворювач з частотою 5,0 МГц



1) 2) 3)
Рис. 3. Акустичні дослідження на різних глибинах: 1) частота 5 МГц, індикація на глибині 37 мм; 2) частота 5 МГц, індикація на глибині 87 мм; 3) частота 2,5 МГц, індикація на глибині 37 мм

Перспективним є використання сучасних ультразвукових дефектоскопів з фазованими антенними решітками (ФАР), з одночасним використання режимів TFM (Total Focusing Method) і FMC (Full Matrix Capture) для виявлення дефектів довільної орієнтації, розташованих на різній глибині.

Для радіографічного методу НК зразки були виготовлені:

- з титану, технологією пошарового наплавлення порошковим дротом з використанням технології 3D друку профільним електронним променем (xBeam 3D Metal Printing) (ТОВ «Червона Хвиля», Київ) [9, 10];

- зі сталі й бронзи, виготовлені за технологією Gas Metal Arc Welding (GMAW) наплавлення плавким електродом у середовищі захисних газів (НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського).

Радіографічне дослідження проводилось за технологією класичної плівкової радіографії та DR (цифрова пряма радіографія). Дослідження металевих виробів проведені у лабораторії неруйнівного контролю ТОВ «Науково-виробнича фірма «Діагностичні прилади». Джерело випромінювання: генератор рентгенівського випромінювання Baltospot GFD165 (максимальна прискорююча напруга на рентгенівській трубі 160 кВ, струм 5 мА). Фокусна відстань 600 мм, напруга – 100 кВ, струм 5 мА. Дослідження виконані на рентгенівській плівці

Fujifilm IX 80 (C4 згідно ISO 11699-1), час експозиції для виробів товщиною 10 мм склав 1 хвилину та 30 секунд, для виробів з товщиною 5 мм – 25 секунд. Час експозиції залежить від номограм експозиції для кожного типу плівки, а також від особливостей генератора рентгенівського випромінювання.

На рис. 4–6 наведені результати радіографічних досліджень для зразків титану, сталі та бронзи.

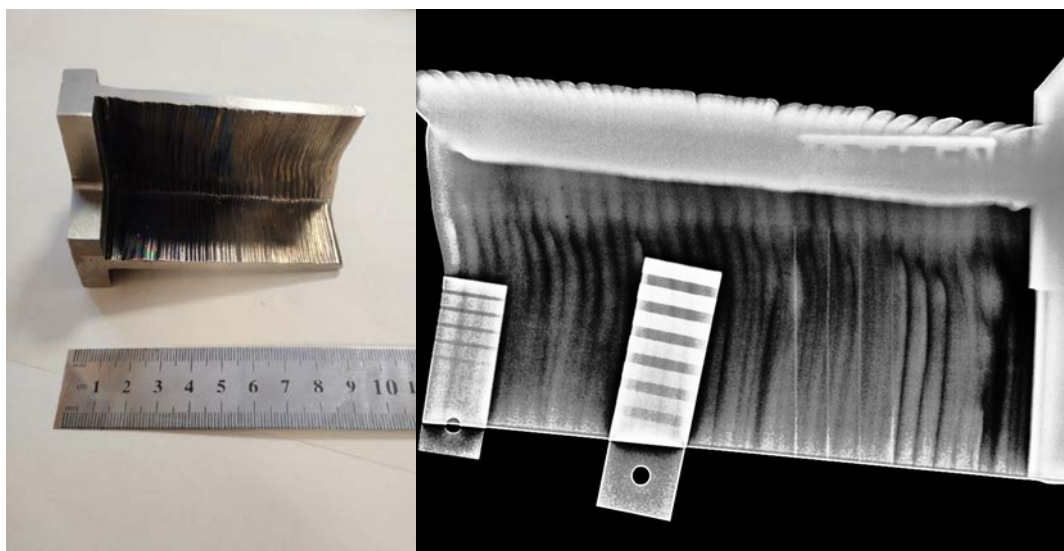


Рис. 4. Радіографічне дослідження зразку з титану

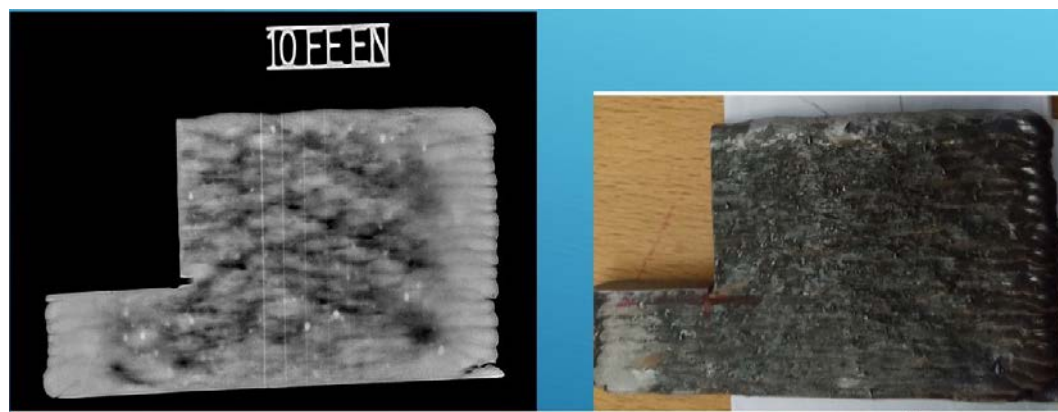


Рис. 5. Радіографічне дослідження зразку зі сталі

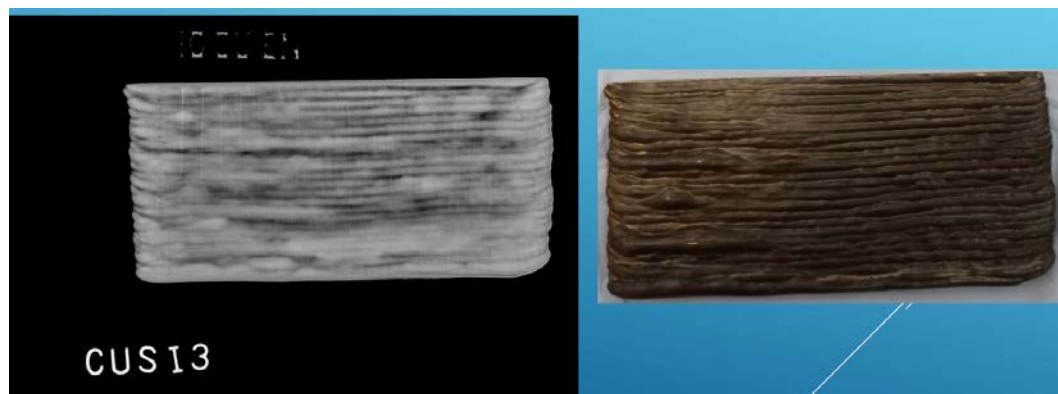


Рис. 6. Радіографічне дослідження зразку з бронзи

Детектор – рентгенівська плівка, система комп’ютерної радіографії GOSCAN 1510HR. Також використовувались індикатори якості зображень відповідно до ДСТУ ISO 19232-1 відповідного матеріалу.

Для зразка Т-подібної форми (рис. 4) кут опромінення склав 60° , що призвело до зміни радіаційної товщини на різних ділянках зразка. На знімку чітко видно неоднорідність оптичної густини. Для достовірного контролю виробів складної форми потрібно робити декілька експозицій з різним часом (розрахувати час експозиції для кожної радіаційної товщини). Отриманий результат демонструє, що чутливість цього методу відповідає 4% відповідно до ДСТУ EN ISO 19232-1:2016.

Отримані рентгенівські знімки демонструють, що вироби можна роздивитись та провести оцінку відповідно до нормативних документів. Індикатори якості зображення фіксуються та по номеру еталонного дроту або канавки можна оцінити наявність недопустимих дефектів об’ємного типу.

Висновки. Результати проведених досліджень показали можливість застосування та високу ефективність ультразвукового та радіаційного методів неруйнівного контролю для виробів адитивних технологій виготовлених з вольфраму, молібдену, титану, сталі та бронзи. Індикації при акустичному методі дослідження свідчать про наявність таких дефектів, як пористість. За глибиною індикації можна встановити розташування дефекту. Рентгенівські знімки дозволяють оцінити якість готового виробу з точки зору наявності несучільностей, які пов’язані з поганою наплавкою металу. Для виявлення дефектів у виробах складної форми рекомендовано розраховувати час експозиції для кожної радіаційної товщини та використання дефектоскопів з фазованими антенними решітками для виявлення дефектів довільної орієнтації на різній глибині. Також ультразвуковий контроль доцільно використовувати для визначення механічних характеристик готових виробів. При подальших дослідженнях якості металевих виробів рекомендовано на етапі розробки конструкторської документації на вироби та технологію ввести коректні критерії прийомки у відповідності до міцнісних характеристик адитивних матеріалів.

References

1. ISO 643:2019 Steels – Micrographic determination of the apparent grain size. URL: <https://www.iso.org/standart/72193.html>.
2. Marinelli, G., Martina, F., Lewtas, H. et al. (2019). Microstructure and thermal properties of unalloyed tungsten deposited by Wire+Arc additive manufacture. *Journal of Nuclear Materials*, 522, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.04.049>.
3. Marinelli, G., Martina, F., Ganguly, S., Williams, S. (2020). Grain refinement in an unalloyed tantalum structure by combining Wire+Arc additive manufacturing and vertical cold rolling. *Additive Manufacturing*, 32, 101009. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.101009>.
4. Everton, S., Dickens, P., Tuck, C., Dutton, B. (2018). Using Laser Ultrasound to Detect Subsurface Defects in Metal Laser Powder Bed Fusion Components. *JOM*, Vol. 70, No. 3, P. 378–383.
5. Davis, G., Nagarajah, R., Palanisamy, S., Rashid, R. A. R., Rajagopal, P., Balasubramaniam, K. (2019).

Література

1. ISO 643:2019 Steels – Micrographic determination of the apparent grain size. URL: <https://www.iso.org/standart/72193.html>.
2. Marinelli G., Martina F., Lewtas H. et al. Microstructure and thermal properties of unalloyed tungsten deposited by Wire+Arc additive manufacture. *Journal of Nuclear Materials*. 2019. Vol. 522. P. 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2019.04.049>.
3. Marinelli G., Martina F., Ganguly S., Williams S. Grain refinement in an unalloyed tantalum structure by combining Wire+Arc additive manufacturing and vertical cold rolling. *Additive Manufacturing*. 2020. 32. 101009. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2019.101009>.
4. Everton S., Dickens P., Tuck C., Dutton B. Using Laser Ultrasound to Detect Subsurface Defects in Metal Laser Powder Bed Fusion Components. *JOM*. 2018. Vol. 70, No. 3. P. 378–383.
5. Davis G., Nagarajah R., Palanisamy S., Rashid R. A. R., Rajagopal P., Balasubramaniam K. Laser

Laser ultrasonic inspection of additive manufactured components. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, P. 1–9.

6. Witkin, D. B., Sitzman, S., Kim, Y., Adelman, E., Adams, P., Ives, N. (2018). Experimental nondestructive characterization of an aluminum alloy prepared by powder-bed additive manufacturing. *Materials Evaluation*, Vol. 76, No. 4, P. 489–502.

7. Shapovalov, V. O., Nikitenko, Yu. O., Yakusha, V. V. et al. (2020). Manufacture of super large tungsten single crystals in the form of rotation bodies. *PAST*, 1 (125), 60–63. <https://doi.org/10.46813/2020-125-060>.

8. Shapovalov, V. O., Nikitenko, Yu. O., Yakusha, V. V. et al. (2023). 3D technology of growing tungsten single-crystal. *The Paton Welding Journal*, 2023, No. 11, P. 30–34. <https://doi.org/10.37434/tpwj.2023.11.03>.

9. Gupta, P., Duarte, C. A., Dhankhar, A. (2017). Accuracy and Robustness of Stress Intensity Factor Extraction Methods for the Generalized/eXtended Finite Element Method. *Engineering Fracture Mechanics*. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.03.035>.

10 Lin, Z., Song, K., Yu, X. (2021). A review on wire and arc additive manufacturing of titanium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*, 70, 24–45. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.08.018>.

ultrasonic inspection of additive manufactured components. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2019. P. 1–9.

6. Witkin D. B., Sitzman S., Kim Y., Adelman E., Adams P., Ives N. Experimental nondestructive characterization of an aluminum alloy prepared by powder-bed additive manufacturing. *Materials Evaluation*. 2018. Vol. 76, No. 4. P. 489–502.

7. Shapovalov V. O., Nikitenko Yu. O., Yakusha V. V. et al. Manufacture of super large tungsten single crystals in the form of rotation bodies. *PAST*. 2020. Vol. 1 (125). P. 60–63. <https://doi.org/10.46813/2020-125-060>.

8. Shapovalov V. O., Nikitenko Yu. O., Yakusha V. V. et al. 3D technology of growing tungsten single-crystal. *The Paton Welding Journal*. 2023. No. 11. P. 30–34. <https://doi.org/10.37434/tpwj.2023.11.03>.

9. Gupta P., Duarte C. A., Dhankhar A. Accuracy and Robustness of Stress Intensity Factor Extraction Methods for the Generalized/eXtended Finite Element Method. *Engineering Fracture Mechanics*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2017.03.035>.

10. Lin Z., Song K., Yu X. A review on wire and arc additive manufacturing of titanium alloy. *Journal of Manufacturing Processes*. 2021. Vol. 70. P. 24–45. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.08.018>.

KRYUKOVA OLENA

PhD, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8638-3580>
Scopus Author ID: 24335433200
E-mail: kryukova.oa@knuud.com.ua

HLABETS SERHIY

Master's student
Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
E-mail: s.glabets@gmail.com

PAVLIY OLEKSANDR

Master's student
Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
E-mail: alpavliy@gmail.com

KUKHTA IHOR

Master's student
Department of Chemical Technologies and
Resource Saving, Kyiv National University of
Technologies and Design, Ukraine
E-mail: kukhtaiy@gmail.com

¹KRYUKOVA O. A., ²PAVLIY O. V., ³HLABETS S. M., ³KUKHTA I. YA.

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² NVF "Diagnosticschni prylady", Kyiv, Ukraine

³ LLC "Scientific and Production Firm "Ultrakon", Kyiv, Ukraine

**APPLICATION OF ULTRASOUND AND RADIOGRAPHIC METHODS
OF NON-DESTRUCTIVE CONTROL FOR QUALITY ASSESSMENT
OF METAL PRODUCTS OF ADDITIVE PRODUCTION**

Purpose. Find out the possibilities of using acoustic and radiographic methods of non-destructive testing to detect defects in products of electron beam surfacing made of titanium, steel, tungsten, molybdenum and bronze, as well as to determine optimal technologies and control parameters.

Methodology. Comparative control of the acoustic research was carried out by contact transducers, longitudinal (compression) ultrasonic waves of the following frequencies/diameters of the working surface: 2 MHz/24 mm; 2.5 MHz/10mm and 5 MHz/14mm. The radiographic examination was carried out using the technology of classic film radiography and DR (digital direct radiography).

Findings. It is shown that ultrasonic and radiation control methods allow to assess the quality of products of additive technologies in accordance with regulatory documents.

Originality. Based on the research results, recommendations were made regarding the use of non-destructive testing methods to detect defects and mechanical properties of finished products.

Practical value. The use of modern ultrasonic flaw detectors with phased antenna arrays (PHAs), with the simultaneous use of TFM (Total Focusing Method) and FMC (Full Matrix Capture) modes to detect defects of arbitrary orientation located at different depths is promising for researching the quality of products of additive technologies.

Keywords: additive technologies; non-destructive testing; acoustic method; radiographic method.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.7>

УДК 621.39

ЛАЗЕБНИЙ В. С., ОМЕЛЬЯНЕЦЬ О. О.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

ЕЛЕКТРОМАГНІТНА СУМІСНІСТЬ БЕЗПРОВОДОВИХ МЕРЕЖ IEEE 802.11AC

Мета. Метою цих досліджень є проаналізувати параметри зони обслуговування точки доступу мережі стандарту IEEE 802.11ac, залежно від параметрів модуляції й кодування, а також взаємний вплив суміжних мереж цієї специфікації на стабільність їх функціонування.

Методика. На підґрунті нормованих параметрів потужності випромінювання точки доступу і мінімально необхідного рівня прийнятого сигналу зроблено розрахунок максимальної відстані від точки доступу до абонентської станції, на якій можна забезпечити приймання кадрів даних у локальній мережі IEEE 802.11ac, за певного режиму модуляції й кодування (MCS). Отримані результати застосовано для оцінювання рівня електромагнітної сумісності суміжних безпроводових мереж специфікації IEEE 802.11ac.

Результати. Встановлено, що за умови обмеження випромінюваної потужності точки доступу на рівні 100 мВт високошвидкісні режими передавання даних у безпроводовій мережі IEEE 802.11ac, можна реалізувати за відсутності перешкод на шляху розповсюдження радіохвиль в радіусі 10÷15 м від точки доступу. Розмір зони обслуговування залежить від застосованого в мережі режиму модуляції й кодування, і радіус зони може змінюватись до десяти разів. Цей розмір залежить також від ширини частотної смуги радіоканалу і зменшується вдвічі, у разі збільшення частотної смуги в чотири рази. У разі зменшення випромінюваної потужності точки доступу до 60 мВт, радіус зони обслуговування зменшується на 25%. За результатами аналізу застосованих в мережах IEEE 802.11 механізмів оцінювання зайнятості частотного каналу, зроблено висновок про те, що в локаціях зі щільним розташуванням локальних мереж значний взаємний вплив може бути, як внаслідок виникнення співканальних завад, так і внаслідок міжмережесевих завад суміжних частотних каналів.

Наукова новизна. Узагальнено чинники, що впливають на функціонування суміжних безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11 на фізичному рівні та визначено числові дані, що характеризують залежність зони обслуговування мережевої точки доступу специфікації IEEE 802.11ac від режиму передавання користувацьких даних.

Практична значимість. Результати можуть бути використані під час проектування, планування та обслуговування безпроводових мереж стандарту IEEE 802.11, зі змогою сформулювати прогнозну оцінку швидкості передавання даних, залежно від місця розташування користувацької станції в зоні обслуговування точки доступу та наявних перешкод на шляху розповсюдження OFDM сигналу і від наявності інших, близько розташованих мереж IEEE 802.11.

Ключові слова: точка доступу; енергетичний поріг; EMC; IEEE 802.11; MCS; RSSI; SNR.

Вступ. Безпроводові мережі стандарту IEEE 802.11 (Wi-Fi) широко застосовують у різноманітних сферах людської діяльності як зручний засіб для створення локальних мереж обміну даними і швидкого доступу до інформаційних ресурсів через мережу Інтернет. Ці мережі почали активно використовувати для реалізації технології IP-телефонії (VoIP) [1], організації відеоконференцій [2] тощо. Для реалізації таких технологій важливими чинниками є малі затримки передавання, невелика нерівномірність затримок і достатня пропускна здатність. Деякі фахівці не рекомендують використовувати мережі Wi-Fi для організації офісних локальних мереж саме через нестабільний характер параметрів з'єднання [3]. Затримки та їх нерівномірність можуть сягати великих значень [4], що суттєво зменшує якість наданих послуг. Узагальнено можна окреслити два основних чинники, що впливають на поточні показники мережі: внутрішньо мережева конкуренція між абонентами мережі та вплив електромагнітної обстановки, створеної близько розташованими безпроводовими

мережами IEEE 802.11. Ще одним чинником є перешкоди, розташовані на шляху розповсюдження електромагнітної хвилі. Такими перешкодами можуть бути цегляні й бетонні стіни і перегородки, металеві та скляні двері, тіло людини тощо [5–7]. Деякі перешкоди можуть притлумлювати сигнал на кілька десятків децибелів, чим значно скорочувати зону обслуговування.

У діапазоні 2,4 ГГц сигнали Wi-Fi мереж розповсюджуються на більшу відстань, ніж в діапазоні 5 ГГц, але наявність великої кількості джерел випромінювання і міжмережових завад спонукає розробників пропонувати користувачам надавати перевагу діапазону 5 ГГц [8], в якому можна організувати більше частотних каналів без перекриття частотних смуг. Проте, в діапазоні 5 ГГц ефективні характеристики мереж суттєво відрізняються від задекларованих [9].

Стандарт IEEE 802.11 призначено для організації безпроводових мереж на фізичному і канальному рівнях моделі OSI. Питанням щодо функціонування мереж IEEE 802.11 на канальному рівні присвячено багато досліджень, а питання функціонування мережі на фізичному рівні залишається здебільшого поза увагою фахівців. Водночас процеси, що мають місце на фізичному рівні, суттєво впливають на характеристики мережі, їх врахування може забезпечувати кращі експлуатаційні показники мережі в цілому, що й визначило актуальність здійснення додаткових досліджень.

Постановка завдання. Метою цих досліджень є проаналізувати параметри зони обслуговування точки доступу мережі стандарту IEEE 802.11ac, залежно від параметрів модуляції й кодування, а також взаємний вплив суміжних мереж цієї специфікації на стабільність їх функціонування.

Особливості зони обслуговування точки доступу безпроводової мережі. У радіоінтерфейсі мережі IEEE 802.11ac використано систему багаточастотної модуляції й кодування OFDM. Основні параметри OFDM сигналів для мереж IEEE 802.11n і IEEE 802.11ac [10], у разі використання одного, двох і трьох просторових потоків, наведено у табл. 1.

Хоча стандартом IEEE 802.11ac передбачено можливість використовувати до восьми просторових потоків, проте, до окремого користувача точка доступу може спрямовувати один, два або три потоки, залежно від кількості приймальних антен в абонентському пристрої. У першому стовпчику табл.1 наведено нумерацію режимів модуляції й кодування (MCS) для мереж специфікації IEEE 802.11n (HT_MCS), у другому – для мереж специфікації IEEE 802.11ac (VHT_MCS).

У табл. 1, окрім безпосередньо параметрів сигналів, наведено передбачені у стандарті мінімальні значення відношення сигнал-шум (SNR) та мінімальні значення потужності на вході приймача (RSSI), необхідні для приймання сигналів з певними параметрами модуляції й кодування (MCS) [11]. RSSI ще називають чутливістю приймача. Із застосуванням цих параметрів можна зробити оцінювання розмірів зони обслуговування точки доступу, залежно від застосованої швидкості передавання й випромінюваної потужності. Слід зауважити, що перехід на більшу або меншу швидкість передавання, здійснюваний точкою доступу (ТД) автоматично, може бути обумовлений, наприклад, появою або відсутністю помилкових кадрів під час передавання, внаслідок зміни електромагнітної обстановки.

Спочатку розглянемо межі зони обслуговування за ідеальних умов розповсюдження сигналу. Тобто, коли на шляху розповсюдження сигналу нема перешкод, і присутні тільки теплові шуми.

За цього визначимо, на якій відстані від точки доступу буде досягнуто мінімально необхідної потужності прийнятого сигналу для різних значень MCS.

Таблиця 1

Параметри сигналів OFDM мережі IEEE802.11ac (VHT MCS)

HT MCS	VHT MCS	Модуляція	Код.	20 МГц				40 МГц				80 МГц				160 МГц			
				S, Мб/с		Min.	RSSI	S, Мб/с		Min.	RSSI	S, Мб/с		Min.	RSSI	S, Мб/с		Min.	RSSI
				800нс	400нс			800нс	400нс			800нс	400нс			800нс	400нс		
Один просторовий потік																			
0	0	BPSK	1/2	6,5	7,2	2	-82	13,5	15	5	-79	29,3	32,5	8	-76	58,5	65	11	-73
1	1	QPSK	1/2	13	14,4	5	-79	27	30	8	-76	58,5	65	11	-73	117	130	14	-70
2	2	QPSK	3/4	19,5	21,7	9	-77	40,5	45	12	-74	87,8	97,5	15	-71	175,5	195	18	-68
3	3	16-QAM	1/2	26	28,9	11	-74	54	60	14	-71	117	130	17	-68	234	260	20	-65
4	4	16-QAM	3/4	39	43,3	15	-70	81	90	18	-67	175,5	195	21	-64	351	390	24	-61
5	5	64-QAM	2/3	52	57,8	18	-66	108	120	21	-63	234	260	24	-60	468	520	27	-57
6	6	64-QAM	3/4	58,5	65	20	-65	121,5	135	23	-62	263,3	292,5	26	-59	526,5	585	29	-56
7	7	64-QAM	5/6	65	72,2	25	-64	135	150	28	-61	292,5	325	31	-58	585	650	34	-55
-	8	256-QAM	3/4	78	86,7	29	-59	162	180	32	-56	351	390	35	-53	702	780	38	-50
-	9	256-QAM	5/6	-	-	31	-57	180	200	34	-54	390	433,3	37	-51	780	866,7	40	-48
Два просторових потоки																			
8	0	BPSK	1/2	13	14,4	2	-82	27	30	5	-79	58,5	65	8	-76	117	130	11	-73
9	1	QPSK	1/2	26	28,9	5	-79	54	60	8	-76	117	130	11	-73	234	260	14	-70
10	2	QPSK	3/4	39	43,3	9	-77	81	90	12	-74	175,5	195	15	-71	351	390	18	-68
11	3	16-QAM	1/2	52	57,8	11	-74	108	120	14	-71	234	260	17	-68	468	520	20	-65
12	4	16-QAM	3/4	78	86,7	15	-70	162	180	18	-67	351	390	21	-64	702	780	24	-61
13	5	64-QAM	2/3	104	115,6	18	-66	216	240	21	-63	468	520	24	-60	936	1040	27	-57
14	6	64-QAM	3/4	117	130,3	20	-65	243	270	23	-62	526,5	585	26	-59	1053	1170	29	-56
15	7	64-QAM	5/6	130	144,4	25	-64	270	300	28	-61	585	650	31	-58	1170	1300	34	-55
-	8	256-QAM	3/4	156	173,3	29	-59	324	360	32	-56	702	780	35	-53	1404	1560	38	-50
-	9	256-QAM	5/6	-	-	31	-57	360	400	34	-54	780	866,7	37	-51	1560	1733	40	-48
Три просторових потоки																			
16	0	BPSK	1/2	19,5	21,7	2	-82	40,5	45	5	-79	87,8	97,5	8	-76	175,5	195	11	-73
17	1	QPSK	1/2	39	43,3	5	-79	81	90	8	-76	175,5	195	11	-73	351	390	14	-70
18	2	QPSK	3/4	58,5	65	9	-77	121,5	135	12	-74	263,3	292,5	15	-71	526,5	585	18	-68
19	3	16-QAM	1/2	78	86,7	11	-74	162	180	14	-71	351	390	17	-68	702	780	20	-65
20	4	16-QAM	3/4	117	130	15	-70	243	270	18	-67	526,5	585	21	-64	1053	1170	24	-61
21	5	64-QAM	2/3	156	173,3	18	-66	324	360	21	-63	702	780	24	-60	1404	1560	27	-57
22	6	64-QAM	3/4	175,5	195	20	-65	364,5	405	23	-62	-	-	26	-59	1580	1755	29	-56
23	7	64-QAM	5/6	195	216,7	25	-64	405	450	28	-61	877,5	975	31	-58	1755	1950	34	-55
-	8	256-QAM	3/4	234	260	29	-59	486	540	32	-56	1053	1170	35	-53	2106	2340	38	-50
-	9	256-QAM	5/6	260	288,9	31	-57	540	600	34	-54	1170	1300	37	-51	-	-	40	-48

Примітка. HT MCS – швидкісний режим за специфікацією IEEE 802.11n; VHT MCS – дуже швидкісний режим за специфікацією IEEE 802.11ac; S – швидкість передавання блоку даних; SNR – відношення сигнал/шум; RSSI (Received Signal Strength Indication) – мінімальне значення потужності на вході приймача.

Максимальну потужність випромінювання радіоелектронних засобів (РЕЗ) безпроводових мереж стандарту IEEE802.11 в частотній смузі 5150–5850 МГц в Україні регламентовано постановою Кабінету Міністрів України № 801 від 15 липня 2022 р. Зокрема в ній визначено, що «експлуатація радіообладнання стандартів IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac і IEEE 802.11ax здійснюється виключно всередині приміщень відповідно до Б01 за умови використання в РЕЗ інтегрованих (конструктивних) неспрямованих антен із коефіцієнтом

підсилення до 9 дБ¹ та обмеження максимальної еквівалентної ізотропної випромінювальної потужності до 100 мВт» [12].

Частотні смуги можливих радіоканалів мереж IEEE 802.11ac наведено на рис. 1 [13].

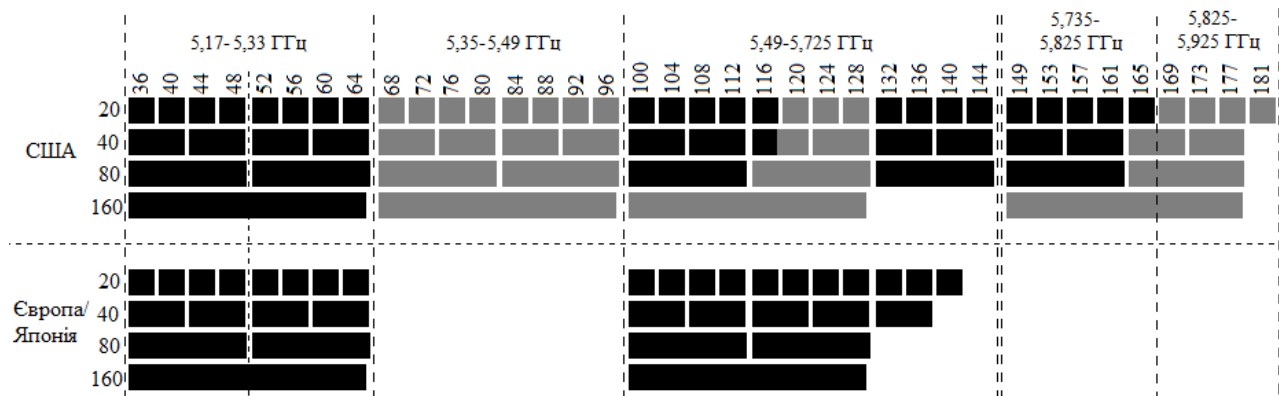


Рис. 1. Розподіл частотних смуг неліцензованого діапазону 5 ГГц

На рис. 1 наведено частотні смуги, що не перекриваються на рівні -20 дБ напруженості електромагнітного поля, створюваного в межах основної смуги частот. Спектральну маску для каналу мережі IEEE 802.11 з частотною смугою 20 МГц наведено на рис. 2.

Визначимо зону покриття точки доступу з максимально можливою випромінюваною потужністю $P_{AP} = 100$ мВт (20 дБм)². Зробимо узагальнений розрахунок для частоти 5,4 ГГц із застосуванням формули загасання у вільному просторі [14].

$$L = \left(\frac{4 \cdot \pi \cdot d \cdot f}{c} \right)^2, \quad (1)$$

де d – відстань від точки доступу до точки приймання, м;
 f – частота радіосигналу, Гц;
 c – швидкість світла ($3 \cdot 10^8$ м/с).

Із співвідношення (1) знаходимо:

$$d = \frac{c \cdot \sqrt{L}}{4 \cdot \pi \cdot f} = 0,00442 \cdot \sqrt{L}. \quad (2)$$

Величину загасання сигналу L до межі зони обслуговування для різних значень MCS в термінах стандарту IEEE 802.11 можна визначити через випромінювану потужність точки доступу (P_{AP}) і мінімальну потужність на вході приймача радіосигналу необхідну для приймання сигналу $RSSI$:

$$L, \text{дБ} = P_{AP} - RSSI. \quad (3)$$

Отримані згідно з (3) значення загасання і розраховані згідно з (2) відстані до межі зони обслуговування наведено в табл. 2.

¹ дБі – децибел відносно рівня ізотропного випромінювача. Характеризує коефіцієнт підсилення антени спрямованої дії відносно коефіцієнта ізотропного випромінювача.

² дБм – абсолютний рівень потужності в децибелах (dB) відносно 1 мВт (тобто, опорним рівнем є потужність 1 мВт).

Таблиця 2

Загасання сигналу і радіус зони обслуговування

	MCS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20 МГц	<i>L</i> , дБ	102	99	97	94	90	86	85	84	79	77
	<i>d</i> , м	556,45	393,93	312,91	221,52	139,77	88,19	78,60	70,05	39,39	31,29
	<i>SNR*</i> , дБ	18,849	21,849	23,849	26,849	30,849	34,849	35,849	36,849	41,849	43,849
	<i>SNR</i> , дБ	2	5	9	11	15	18	20	25	29	31
40 МГц	<i>L</i> , дБ	99	96	94	91	87	83	82	81	76	74
	<i>d</i> , м	393,93	278,88	221,52	156,83	98,95	62,43	55,64	49,59	27,89	22,15
	<i>SNR*</i> , дБ	18,849	21,849	23,849	26,849	30,849	34,849	35,849	36,849	41,849	43,849
	<i>SNR</i> , дБ	5	8	12	14	18	21	23	28	32	34
80 МГц	<i>L</i> , дБ	96	93	91	88	84	80	79	78	73	71
	<i>d</i> , м	278,88	197,43	156,83	111,03	70,05	44,20	39,39	35,11	19,74	15,68
	<i>SNR*</i> , дБ	18,849	21,849	23,849	26,849	30,849	34,849	35,849	36,849	41,849	43,849
	<i>SNR</i> , дБ	8	11	15	17	21	24	26	31	35	37
160 МГц	<i>L</i> , дБ	93	90	98	85	81	77	76	75	70	68
	<i>d</i> , м	197,43	139,77	111,03	78,60	49,59	31,29	27,89	24,86	13,98	11,10
	<i>SNR*</i> , дБ	18,849	21,849	23,849	26,849	30,849	34,849	35,849	36,849	41,849	43,849
	<i>SNR</i> , дБ	11	14	18	20	24	27	29	34	38	40

У табл. 2 наведено також значення відношення сигнал-шум (*SNR**) для сигналів на межі зони обслуговування для перевірки умови їх надійного приймання. Рівень відношення сигнал-шум (*SNR**), розрахований з урахуванням мінімально необхідної потужності на вході приймача, перевищує мінімально необхідні значення відношення сигнал-шум (*SNR*) для всіх режимів, наведених у табл. 1.

Відношення сигнал-шум на вході приймача абонентської станції визначено за співвідношенням [15]:

$$SNR^* = \frac{RSSI}{k \cdot T \cdot B} \text{ або } SNR, \text{ дБ} = 10 \lg \frac{RSSI}{k \cdot T \cdot B}, \quad (4)$$

де *RSSI* – мінімальне значення потужності на вході приймача, необхідне для приймання сигналу;

k – стала Больцмана, $1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;

T – абсолютна температура середовища, К;

B – ширина частотної смуги радіоканалу, Гц.

За результатами, наведеними в табл. 2, можна з'ясувати залежність розмірів зони обслуговування мережевої точки від режиму модуляції й кодування і від ширини частотного каналу. Так, зі зміною модуляції від QPSK (MCS1) до 256-QAM (MCS8) в каналі з частотною смугою 20 МГц радіус зони обслуговування у вільному просторі змінюється від 394 м до 39 м. Тобто, залежно від способу модуляції і швидкості завадозахисного коду, радіус зони обслуговування може змінюватись в 10 разів. Ця залежність має місце і в мережах з іншою шириною частотної смуги каналу. В каналі з частотною смугою 160 МГц радіус зони обслуговування змінюється від 140 м (MCS1) до 11 м (MCS9). Перехід на більш захищений спосіб модуляції й кодування (менша швидкість передавання даних) відбувається, у разі збільшення рівня завад і додаткового загасання сигналу в каналі, що призводить до втрати кадрів даних або керування.

Залежність радіусу зони обслуговування від ширини частотної смуги радіочастотного каналу обумовлена обмеженням випромінюваної потужності передавачів мережевих станцій. За цього, в разі подвоєння частотної смуги в 2 рази, радіус зони обслуговування зменшується приблизно в 1,4 рази (розрахункове значення 1,4125). Так, у разі використання частотного каналу 20 МГц і режиму модуляції й кодування MCS1, радіус зони обслуговування становитиме 394 м, а в разі використання такого ж режиму в мережі з частотним каналом 40 МГц – 279 м. У разі збільшення ширини частотної смуги каналу в 4 рази радіус зони обслуговування зменшується у 2 рази. Зазначена залежність радіусу зони обслуговування від ширини частотного каналу має місце для всіх режимів модуляції й кодування.

Взаємний вплив суміжних мереж на параметри фізичного рівня. За реальних умов, безпроводова мережа IEEE 802.11 межує з іншими подібними мережами, які можуть використовувати такі самі або суміжні частотні смуги радіоканалів. Такий сценарій характерний для офісних приміщень, навчальних закладів, багатоквартирних будинків тощо.

Взаємний вплив електронних пристроїв і систем характеризують рівнем електромагнітної сумісності (ЕМС) і рівнем несприйнятливості.

Рівень електромагнітної сумісності (electromagnetic compatibility level) – це установлений рівень електромагнітного збурення, який застосовують, як опорний рівень для координації у регулюванні рівнів емісії та несприйнятливості. Рівень несприйнятливості (immunity level) – максимальний рівень електромагнітного збурення, що діє на конкретний прилад, обладнання чи систему, за якого вони зберігають необхідні робочі характеристики [14].

Аби з'ясувати умови найкращої електромагнітної сумісності близько розташованих мереж, що функціонують в одному частотному діапазоні, треба проаналізувати отримані вище результати, а також врахувати вплив додаткових чинників.

У табл. 2 привертає увагу режим MCS0 у каналі з шириною частотної смуги 20 МГц, сигнали якого абонентська станція може прийняти на дуже великій відстані (більше 550 м), у порівнянні зі швидкісними режимами. Наприклад, якщо порівнювати з режимом MCS9 у каналі 160 МГц з двома просторовими потоками (11÷15 м). Справа в тому, що режим MCS0 використовують всі станції специфікації IEEE 802.11ac для надійного передавання преамбули кадрів, призначеної для взаємодії з мережевими пристроями попередніх специфікацій. Тобто, в разі функціонування двох просторово рознесених мереж у діапазоні 5 ГГц, що використовують однакові частотні смуги, сигнали «старої» преамбули віддаленої мережі можуть суттєво впливати на пропускну здатність даної безпроводової мережі.

Цей вплив обумовлений механізмом оцінювання зайнятості каналу. Точка доступу одночасно використовує два методи: виявлення сигналу Wi-Fi і визначення рівня радіочастотної енергії в каналі. Згідно з першим методом, приймач починає декодувати сигнал, що надходить від інших мереж IEEE 802.11, а згідно з другим – приймач оцінює рівень радіочастотного сигналу довільного походження в частотній смузі каналу.

Порогові значення рівнів сигналів, що визначають зайнятість каналу, наведено в табл. 3 [15].

Таблиця 3

Порогові значення для виявлення вільного каналу

Ширина каналу, МГц	Сигнальний поріг, дБм (основний канал)	Сигнальний поріг, дБм (неосновний канал)	Енергетичний поріг, дБм
20	-82	-72	-62
40	-79	-72	-59
80	-76	-69	-56
160	-73	не визначено	не визначено

Так, точка доступу, що знаходиться на відстані 50 м, за умови застосування нею ЕІВП³ 20 дБм в напрямку даної ТД або абонентської станції, сформує сигнал «мінус» 61,065 дБм, що може призвести до оцінки зайнятості каналу за двома згаданими вище ознаками.

Окрім співканальних завад, тобто завад, створених мережами, що функціонують в каналах з однаковими частотними смугами, для забезпечення електромагнітної сумісності близько розташованих мереж треба брати до уваги мережі, в яких використані суміжні частотні смуги. Спектральну маску радіочастотного каналу 20 МГц наведено на рис. 2. Обвідна позасмугового випромінювання реального спектру радіосигналу проходить нижче контуру маски, але має доволі високий рівень, як це наведено на рис. 2 [17].

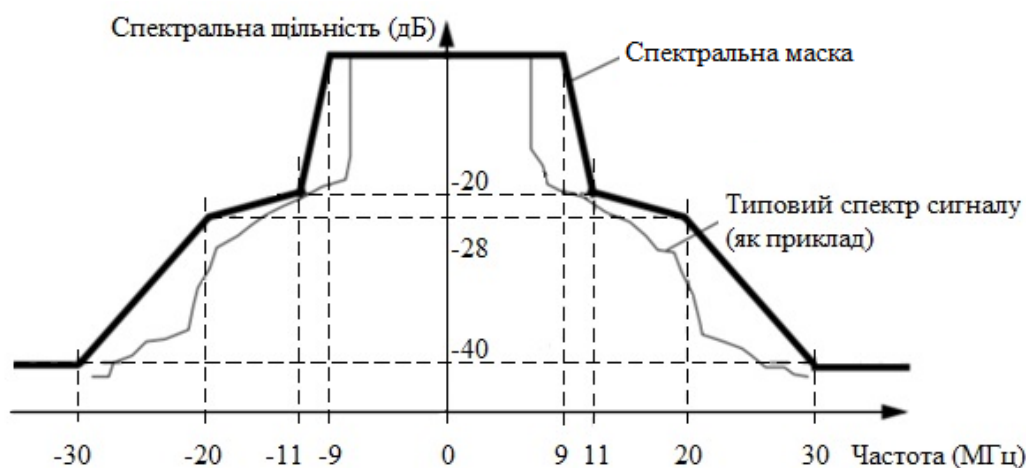


Рис. 2. Спектральна маска мережі IEEE 802.11 для каналу з частотною смугою 20 МГц

Найбільші складнощі можуть виникнути, якщо інші близько розташовані мережі використовують частотні смуги, суміжні з даною мережею з обох боків. У такому разі суміжні мережі можуть спільно створювати достатньо великі завади частотній смузі даного каналу, які перевищують енергетичний поріг і обумовлюють оцінку зайнятості каналу. Найбільш ймовірно джерелом завад можуть бути абонентські станції іншої мережі, що знаходяться поблизу межі зони обслуговування досліджуваної мережі.

Щоб забезпечити електромагнітну сумісність мереж, що функціонують в діапазоні 5 ГГц, можна застосувати два підходи. Можна використовувати секторні антени і розташовувати їх з урахуванням загасання радіосигналу при проходженні через перешкоди (стіни, перекриття тощо), але такий підхід не завжди можна реалізувати через випадковий характер розташування безпроводових мереж у незалежних користувачів. Інший підхід полягає у зменшенні випромінюваної потужності точкою доступу та абонентськими пристроями. Цей підхід дає змогу зменшити рівень міжмережових завад, але водночас призводить до зменшення зони обслуговування ТД і зменшення пропускної здатності безпроводового каналу.

На практиці в діапазоні 5 ГГц для забезпечення ЕМС безпроводових мереж часто налаштовують ТД на максимальну випромінювану потужність в межах 60–75 мВт [9]. У разі використання потужності передавача 60 мВт, замість 100 мВт, радіус зони обслуговування зменшується на 25%, у порівнянні з відстанями, наведеними в табл. 2.

Для забезпечення високих якісних показників функціонування мережі на значних територіях внутрішніх приміщень у діапазоні 5 ГГц доцільно використовувати стільниковий

³ ЕІВП – еквівалентна ізотропно випромінювана потужність.

принцип організації мереж із забезпеченням надійного роумінгу між стільниками. Частотні смуги для суміжних стільників локальних мереж треба вибирати так, щоб їхні частотні смуги не були суміжними.

Висновки. Високошвидкісні режими передавання даних у безпроводовій мережі IEEE 802.11ac, з причини обмеження максимального значення випромінюваної потужності (EIRP) на рівні 100 мВт, можна реалізувати за відсутності перешкод на шляху розповсюдження радіохвиль в радіусі 10÷15 м від точки доступу.

Розмір зони обслуговування залежить від застосованого в мережі режиму модуляції й кодування, і радіус зони може змінюватись до десяти разів. Цей розмір залежить також від ширини частотної смуги радіоканалу і зменшується вдвічі, у разі збільшення частотної смуги в чотири рази.

Хоча в діапазоні 5 ГГц сигнали частотних смуг окремих каналів на рівні -20 дБ майже не перекриваються, внаслідок відносно великої інтенсивності позасмугового випромінювання, у суміжних частотних каналах можуть виникати помітні взаємні завади, що зменшує ефективність використання каналного ресурсу.

Співканальні завади можуть надходити від мереж, що знаходяться на відстані в кілька десятків метрів, внаслідок передавання преамбули кадрів даних для взаємодії з абонентськими пристроями більш ранніх специфікацій, що може призвести до формування оцінки зайнятості каналу і переходу пристроїв мережі в режим очікування.

Якщо в обмеженому просторі розгорнуто кілька мереж за специфікацією IEEE 802.11ac, слід очікувати, що через обмежену електромагнітну сумісність цих мереж не можна досягти максимальних значень експлуатаційних показників.

Для найбільш ефективного використання можливостей безпроводових мереж специфікації IEEE 802.11ac, під час їх планування треба враховувати чинники фізичного рівня, що впливають на електромагнітну сумісність мереж.

Для забезпечення високих якісних показників функціонування мережі на значних територіях внутрішніх приміщень у діапазоні 5 ГГц доцільно використовувати стільниковий принцип організації мереж із забезпеченням надійного роумінгу між стільниками. Частотні смуги для суміжних стільників локальних мереж треба вибирати так, щоб їхні частотні смуги не були дотичними.

References

1. VoIP vs. VoWiFi: Comparing Benefits & Highlighting Differences. URL: <https://www.calilio.com/blogs/voip-vs-vowifi-comparison-differences>.
2. The Impact of Network Latency on Video Streaming Quality. URL: <https://utilitiesone.com/the-impact-of-network-latency-on-video-streaming-quality>.
3. Voice Over Wi-Fi (VoWiFi): Technology Overview, Opportunities, and Challenges. *Lumenci team*, April 10, 2023. URL: <https://www.lumenci.com/research-articles/voice-over-wi-fi>.
4. Salama, R. S. (2020). Quality of Service in IEEE 802.11ac and 802.11n Wireless Protocols with Applications in Medical Environments. *Advances in Asset Management and Condition Monitoring*, P. 1345–1358, DOI:10.1007/978-3-030-57745-2_111.

Література

1. VoIP vs. VoWiFi: Comparing Benefits & Highlighting Differences. URL: <https://www.calilio.com/blogs/voip-vs-vowifi-comparison-differences>.
2. The Impact of Network Latency on Video Streaming Quality. URL: <https://utilitiesone.com/the-impact-of-network-latency-on-video-streaming-quality>.
3. Voice Over Wi-Fi (VoWiFi): Technology Overview, Opportunities, and Challenges. *Lumenci team*, April 10, 2023. URL: <https://www.lumenci.com/research-articles/voice-over-wi-fi>.
4. Salama, R. S. Quality of Service in IEEE 802.11ac and 802.11n Wireless Protocols with Applications in Medical Environments. *Advances in Asset Management and Condition Monitoring*. 2020. P. 1345–1358. DOI:10.1007/978-3-030-57745-2_111.

5. Which Building Materials Can Block Wi-Fi Signals? URL: <https://eyenetworks.no/en/wifi-signal-loss-by-material/>
6. Wi-Fi Signal Attenuation. URL: <https://blog.wavlink.com/en-us/article/TechnicalNews/92442c2444eaa02541dd27fe90bed782.html>
7. Mi, P., Wang, X. (2012). Improved channel assignment for WLANs by exploiting partially overlapped channels with novel CIR-based user number estimation. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2012, June, P. 6591–6595.
8. 2.4 GHz vs. 5 GHz (Which One Is Better?). URL: <https://www.meter.com/business-internet/2-4-ghz-vs-5-ghz>.
9. Lukaszewski, C., Li, L. Very High-Density 802.11ac Networks Theory Guide. Aruba Networks, 62 p. URL: https://howwirelessworks.com/wp-content/uploads/Aruba_VHD_VRD_Theory_Guide.pdf.
10. MCS table and how to use it. URL: <https://wlanprofessionals.com/mcs-table-and-how-to-use-it/>
11. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper. URL: http://euro.ecom.cmu.edu/resources/elibrary/auto/5th_gen_Wi-Fi.pdf
12. Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208 і від 9 червня 2006 р. № 815: Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 2022 р. № 801 [On Amendments to Resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 1208 of December 15, 2005 and No. 815 of June 9, 2006: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 15, 2022 No. 801]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/801-2022-%D0%BF#Text> [in Ukrainian].
13. Matthew, S. (2015). *Gast. 802.11ac: A Survival Guide*. O'Reilly Media, USA, 136 p. URL: <https://freecomputerbooks.com/802.11ac-A-Survival-Guide.html>.
14. Лазебний В. С., Пілінський В. В., Швайченко В. Б. (2023). *Електромагнітна сумісність електронних пристроїв: навчальний посібник* [Electromagnetic compatibility of electronic devices: study guide]. Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 343 p. [in Ukrainian].
15. SNR calculation with Noise Spectral Density. URL: <https://dsp.stackexchange.com/questions/13127/snr-calculation-with-noise-spectral-density>.
16. Why WiFi is Complicated: WiFi Signal Issues. URL: <https://www.accoladewireless.com/wlan-wifi-signal-issues/>
17. Wi-Fi: Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements. URL: <https://www.accoladewireless.com/wlan-wifi-signal-issues/>
5. Which Building Materials Can Block Wi-Fi Signals? URL: <https://eyenetworks.no/en/wifi-signal-loss-by-material/>
6. Wi-Fi Signal Attenuation. URL: <https://blog.wavlink.com/en-us/article/TechnicalNews/92442c2444eaa02541dd27fe90bed782.html>
7. Mi P., Wang X. Improved channel assignment for WLANs by exploiting partially overlapped channels with novel CIR-based user number estimation. *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2012, June. P. 6591–6595.
8. 2.4 GHz vs. 5 GHz (Which One Is Better?). URL: <https://www.meter.com/business-internet/2-4-ghz-vs-5-ghz>.
9. Lukaszewski C., Li L. Very High-Density 802.11ac Networks Theory Guide. Aruba Networks. 62 p. URL: https://howwirelessworks.com/wp-content/uploads/Aruba_VHD_VRD_Theory_Guide.pdf.
10. MCS table and how to use it. URL: <https://wlanprofessionals.com/mcs-table-and-how-to-use-it/>
11. 802.11ac: The Fifth Generation of Wi-Fi Technical White Paper. URL: http://euro.ecom.cmu.edu/resources/elibrary/auto/5th_gen_Wi-Fi.pdf.
12. Про внесення змін до постанов Кабінету Міністрів України від 15 грудня 2005 р. № 1208 і від 9 червня 2006 р. № 815: Постанова Кабінету Міністрів України від 15 липня 2022 р. № 801. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/801-2022-%D0%BF#Text>.
13. Matthew S. Gast. *802.11ac: A Survival Guide*. O'Reilly Media, USA, 2015. 136 p. URL: <https://freecomputerbooks.com/802.11ac-A-Survival-Guide.html>.
14. Лазебний В. С., Пілінський В. В., Швайченко В. Б. *Електромагнітна сумісність електронних пристроїв: навчальний посібник*. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 343 p.
15. SNR calculation with Noise Spectral Density. URL: <https://dsp.stackexchange.com/questions/13127/snr-calculation-with-noise-spectral-density>.
16. Why WiFi is Complicated: WiFi Signal Issues. URL: <https://www.accoladewireless.com/wlan-wifi-signal-issues/>
17. Wi-Fi: Overview of the 802.11 Physical Layer and Transmitter Measurements. URL: <https://www.accoladewireless.com/wlan-wifi-signal-issues/>

www.tek.com/en/documents/primer/wi-fi-overview-80211-physical-layer-and-transmitter-measurements. | www.tek.com/en/documents/primer/wi-fi-overview-80211-physical-layer-and-transmitter-measurements.

LAZEBNYI VOLODYMYR

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Acoustic and Multimedia Electronic
Systems, National Technical University of Ukraine "Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5702-2775>

Scopus Author ID: 55225593900

ResearcherID: J-7229-2017

E-mail: ivs50469-ames@lll.kpi.ua

OMELIANETS OLEKSANDRA

PhD, Department of Acoustic and Multimedia Electronic
Systems, National Technical University of Ukraine "Igor
Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine
<https://orcid.org/0009-0006-6549-201X>

E-mail: omelyanets2011@gmail.com

LAZEBNYI V. S., OMELIANETS O. O.

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF WIRELESS NETWORKS IEEE 802.11AC

Purpose. The purpose of these studies is to analyze the service area parameters of the access point of IEEE 802.11ac network, depending on the modulation and coding parameters, as well as the mutual influence of adjacent networks of this specification on the stability of their operation.

Methodology. Based on the standardized parameters of the access point radiation power and the minimum required level of the received signal, the calculation of the maximum distance from the access point to the subscriber station of IEEE 802.11ac standard local network, at which it is possible to receive of data frames, under a certain mode of modulation and coding (MCS), was made. The obtained results were used to evaluate the level of electromagnetic compatibility of adjacent wireless networks of the IEEE 802.11ac specification.

Findings. It has been established that under the conditions of limiting the radiated power of the access point at the level of 100 mW, high-speed data transmission modes in the IEEE 802.11ac wireless network can be realized within a radius of 10÷15 m from the access point when the interference in the path of radio wave propagation are absent. The size of the service area depends on the modulation and coding mode used in the network, and the radius of the area can vary up to ten times. The size also depends on the width of the frequency band of the radio channel and decreases by half, by increasing of the frequency band by four times. When the radiated power of the access point is reduced to 60 mW, the radius of the service area is reduced by 25%. Based on the results of the analysis of frequency channel occupancy assessment mechanisms used in IEEE 802.11 networks, it was concluded that in locations with a dense location of local networks, there can be a significant mutual influence, both due to influence of co-channel interference and due to inter-network interferences of adjacent frequency channels.

Originality. Factors affecting the operation of adjacent wireless networks of the IEEE 802.11 standard at the physical level are summarized and numerical data characterizing the dependence of parameters of the service area of the IEEE 802.11ac access point by the data transmission mode is determined.

Practical value. The results can be used during the design, planning and maintenance of IEEE 802.11 wireless standard networks to form a predictive estimate of the data transfer rate depending on the location of the user station in the service area of the access point and the presence of obstacles on the path of the OFDM signal propagation and by taking into account of others located nearby networks IEEE 802.11.

Keywords: access point; energy threshold; EMC; IEEE 802.11; MCS; RSSI; SNR.

УДК 004.932.2

¹NOVAK D. S., ²SUKALO M. L.

¹ Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

² National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

QUANTITATIVE ASSESSMENT SOFTWARE DEVELOPMENT FOR THE CHLORELLA VULGARIS MICROALGAE POPULATION

Purpose. Software development to quantify the population growth for the microalgae *Chlorella*.

Methods. Software was developed using Python programming language, external libraries: Numpy, Xlsxwriter, Matplotlib and PIL. The developed software suitability to quantify the population growth of the microalgae *Chlorella* and its verification was determined. During this verification, the population growth of the microalgae with different stages of biomass growth were evaluated. Samples of the microalgae *Chlorella* were obtained over a period of several weeks' population growth.

Results. Software that allows estimating the population growth of the microalgae *Chlorella* in the aquatic environment has been developed. Using this software, data dependence of the heterogeneity coefficient of microalgae *Chlorella vulgaris* biomass growth was obtained. The population growth leads to a decrease in this heterogeneity. This effect can be due the optimal conditions presence for the cultivation of microalgae *Chlorella vulgaris*.

Scientific novelty. The effect of microalgae *Chlorella* population growth on the system homogeneity has been determined. The increase of microalgae *Chlorella vulgaris* biomass content within 4 weeks leads to coefficient of heterogeneity decrease from 92% to 47%, due to the aggregation of microalgae *Chlorella vulgaris* in the aquatic environment.

Practical significance. Developed software allows quantify the growth of the microalgae *Chlorella vulgaris* population in the aquatic environment and can be used to control the algae biomass rise in industrial production.

Conclusion. Software that allows assessing the uniformity distribution of *Chlorella vulgaris* microalgae biomass population growth has been developed. It is applicable to study the level of microorganisms' concentration in the aquatic environment. The results of its verification indicate the developed software suitability for practical use. Using the developed software, the influence of *Chlorella vulgaris* microalgae biomass population growth in the aquatic environment was determined. It is shown that microalgae *Chlorella vulgaris* population growth from 1 to 4 weeks leads to decrease in the mixing index from 93% to 47%, which is due optimal conditions presence for the cultivation of the microalgae *Chlorella vulgaris*. The research methodology can be used in the automated monitoring complexes development for the ecological state of water resources and for controlling the industrial production microalgae *Chlorella vulgaris* population.

Keywords: environmental monitoring software; heterogeneity mixing index; *Chlorella vulgaris*.

Intro. Today long-term voyages by submarines and, in the near future, by spacecrafts, pose a problem in the diet of personnel. One solution to this problem is the cultivation of unique types of algae, namely the green microalgae *Chlorella vulgaris*. Microalgae contain more than 60 trace elements, the concentration of which is much higher than in the terrestrial plants. The dry biomass of *C. vulgaris* contains more than 45–50% of proteins, including essential amino acids; 30–35% of carbohydrates, including mainly starch, cellulose, hemicellulose and soluble sugars; 5–10% of lipids. *Chlorella vulgaris* biomass includes vitamins of groups B, C, PP, E, and carotene. The use of *chlorella* biomass solves the issue of an additional source of useful elements in the diet of personnel on long journeys. *Chlorella* also produces a large amount of oxygen and consumes carbon dioxide, which can be used to create a microclimate in cramped conditions [1–3].

Thus, the quantifying the microalgae *Chlorella* population in industrial production under cyclic biomass growth conditions is acute. To assess the biomass homogeneity particles aquatic environment distribution, the segmentation method can be used. It is based on image division into regions for which a certain homogeneity criterion is met, for example, approximately highlighting

areas equal brightness or pixel count ratio in the image. The image area concept is used to define a image related group elements that have certain common features (properties) [4, 5].

The most difficult tasks are non-trivial images segmentation in digital image processing. The final result of computer image analysis is often depending on the segmentation accuracy, so to improve algorithm of the segmentation reliability considerable attention should be noted. Building segmentation through the use of a threshold is one of the primary and straightforward methods. The threshold, serving as a distinguishing feature, aids in categorizing the target signal into different classes. The thresholding operation is based on the brightness value comparison of each image pixel with a given threshold value. Achieving the suitable threshold value enables the possibility to highlight areas of a certain type in the image. Binarization is the thresholding operation that produces a binary image. The goal of this operation is to significantly diminish the amount of information present in the image [6, 7].

During the binarization process, the initial halftone image, featuring a specific number of brightness levels, undergoes conversion into a black and white image where pixels are assigned only two values – 0 and 1. Due to the reduced information content in a binary image compared to a halftone image, processing, storage, and transmission of binary images are more straightforward. The lack of software implementation of the above method for assessing the homogeneity of the distribution of biomass particles in the aquatic environment hinders its widespread use in practice, presented in this article study which determines the relevance [8].

The task statements. The primary objective of this project is to create software designed to evaluate the distribution of *Chlorella vulgaris* biomass homogeneity in aquatic environments. In order to accomplish this objective, it was essential to examine information sources for the selection of a suitable programming language. Furthermore, functions needed to be developed for converting input data into a binary image, clustering binary images, and calculating the mixing index for the distribution of biomass particles in the aquatic environment. Finally, the suitability of the developed software was assessed through verification processes.

Research results. For the development of software to evaluate the homogeneity of *Chlorella vulgaris* biomass distribution in aquatic environments, the Python programming language and libraries such as Numpy, Xlsxwriter, Matplotlib, and PIL were used. Standard deviation calculating functions of the particle concentration in clusters (std), the average particle *Chlorella vulgaris* biomass concentration (avg) in the aquatic environment, and mixing index (mixingIndex) are shown in Fig. 1.

```
def std(block):  
    a = []  
    for i in block:  
        a.append(1 - np.mean(i, dtype=np.float64))  
    return (np.std(a))  
  
def avg(block):  
    a = []  
    for i in block:  
        a.append(1 - np.mean(i, dtype=np.float64))  
    return (sum(a)/len(a))  
  
def mixingIndex(s, p):  
    return ((s/p)*100)
```

Fig. 1. Functions for mixing index calculation

The obtained microphotographs are converted into binary images using the Image module and convert method of the PIL library (Fig. 2).

```
def imageToBMP(file, num):  
    img = Image.open(file)  
    bw = img.convert(mode="1", dither=Image.NONE)  
    return bw.save("%s.bmp" % num)
```

Fig. 2. Function for image conversion to binary

The binary images acquired undergo conversion into a data array through the use of the loadImage function in conjunction with the numpy library's asarray method. Following this conversion, the data array is segmented into subarrays, with the blockImage function determining their size. The above functions are shown in Fig. 3.

```
def loadImage(file):  
    img = Image.open(file)  
    img.load()  
    return np.asarray(img)  
  
def blockImage(data, rows, cols):  
    h, w = data.shape  
    rows, cols = int(h / rows), int(w / cols)  
    assert h % rows == 0, "{} rows is not evenly divisible by {}".format(h, rows)  
    assert w % cols == 0, "{} cols is not evenly divisible by {}".format(w, cols)  
    return (data.reshape(h // rows, rows, -1, cols)  
            .swapaxes(1, 2)  
            .reshape(-1, rows, cols))
```

Fig. 3. Functions for converting binary images to a data array

The suitability of the developed software was determined by its verification. The *Chlorella vulgaris* microalgae population growth was subjected to evaluation. To assess the biomass distribution homogeneity in the aquatic environment, the image segmentation method was used. We analyzed microalgae *Chlorella vulgaris* microphotographs population for 4 weeks (Fig. 4).

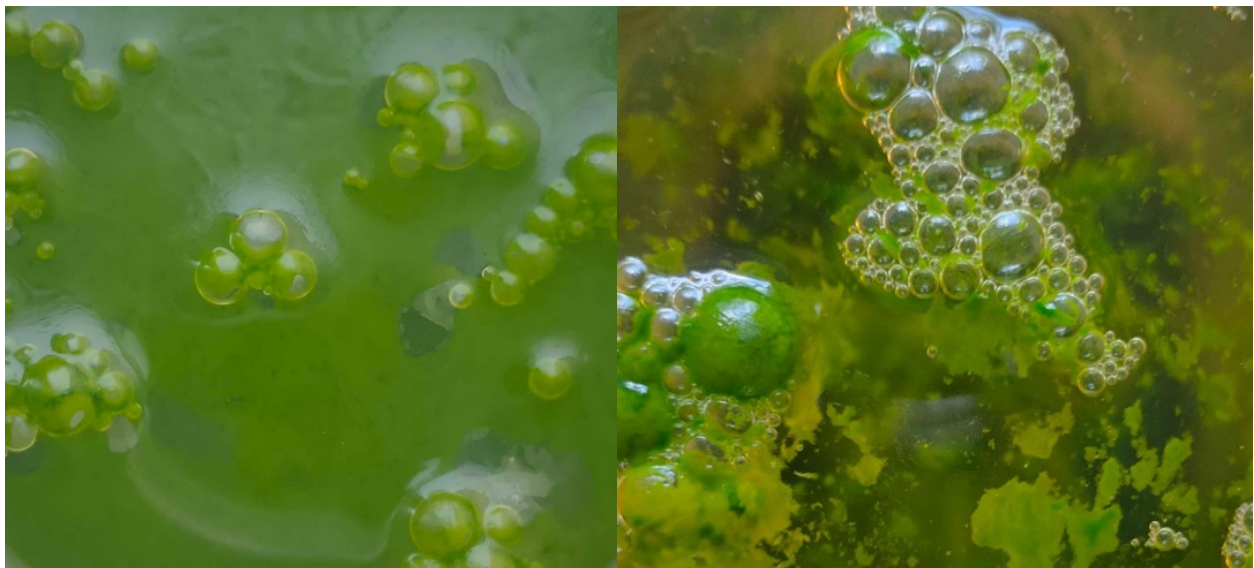


Fig. 4. Photo of the microalgae *Chlorella vulgaris* population

Changes in the microalgae population concentration over 4 weeks can be seen in Figures 5–7.



Fig. 5. Chlorella vulgaris population week 1



Fig. 6. Chlorella vulgaris population week 2–3



Fig. 7. Chlorella vulgaris population week 4

The cluster image analysis method was used to assess the uniform *Chlorella vulgaris* microalgae distribution population and for further obtained data statistical analysis [9]. The microalgae population micrographs were conditionally divided into a sections specified number and the dispersed phase concentration in each cluster was determined. The the particle distribution uniformity in the microalgae population was estimated by the mixing index (Kn), which is the particle concentration standard deviation ratio in the clusters (S) to their average concentration in the sample (Pm):

$$Kn = (S / Pm) \times 100\%.$$

Chlorella vulgaris microalgae evaluation biomass results are shown in Fig. 8. The microalgae *Chlorella vulgaris* in the first week of population growth are characterized by the highest particle distribution heterogeneity (Kn \approx 93%). The microalgae population heterogeneity at the second week growth (Kn \approx 85%) is higher than at the third week (Kn \approx 57%). Comparison of the data shows that the population growth at the fourth week (Kn \approx 47%) is characterized by the highest homogeneity. The decrease in the Kn value for population growth from one to fourth weeks can be explained by the optimal conditions presence for the *Chlorella vulgaris* cultivation. The maximum biomass growth, corresponding to 0.5 days, occurs at a temperature of 32.5 °C and at pH range 6.31–6.84.

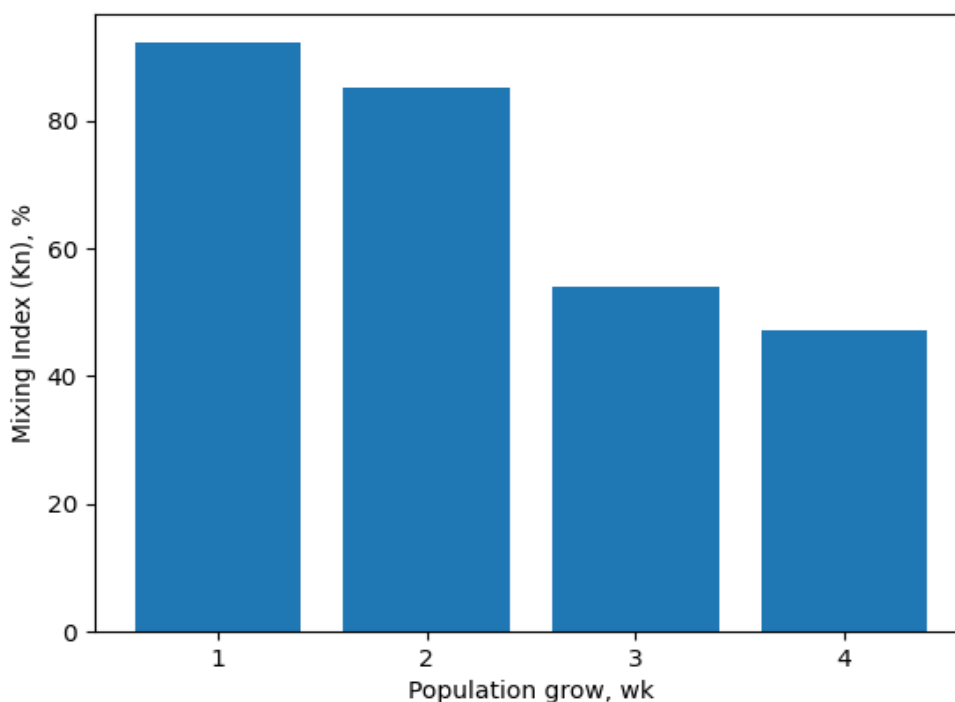


Fig. 8. Heterogeneity coefficient histogram (Kn) *Chlorella vulgaris* microalgae biomass in aqueous solution from population changes in weeks (wk)

It is worth mentioning that *Chlorella vulgaris* possesses higher quantities of folate and iron compared to other plant-derived foods, making it a potential supplement for mammals, including humans. Studies have reported its diverse pharmacological activities, encompassing immunomodulatory, antioxidant, antidiabetic, antihypertensive, and antihyperlipidemic effects [10].

The evaluation of homogeneity results for the population growth of *Chlorella vulgaris* microalgae was conducted using the developed software mentioned above. These results were then contrasted with data acquired through the manual homogeneity assessment method, without the aid

of computer automation. The findings from this comparison affirm the practical suitability of the developed homogeneity assessment software.

Conclusions. Software that allows assessing the uniformity distribution of *Chlorella vulgaris* microalgae biomass population growth has been developed. It can be used to study the level of microorganisms' concentration in the aquatic environment. The results of its verification indicate the developed software suitability for practical use. Using the developed software, the influence of *Chlorella vulgaris* microalgae biomass population growth in the aquatic environment was determined. It is shown that microalgae *Chlorella vulgaris* population growth from 1 to 4 weeks leads to decrease in the mixing index from 93% to 47%, which is due optimal conditions presence for the cultivation of the microalgae *Chlorella vulgaris*. The research methodology can be used in the automated monitoring complexes development for the ecological state of water resources and for controlling the industrial production microalgae *Chlorella vulgaris* population.

References

Література

1. de Andrade, C. J., de Andrade, L. M. (2017). An overview on the application of genus *Chlorella* in biotechnological processes. *J. Adv. Res. Biotechnol.*, 2, 1–9.
2. Huang, M. M., Xin, X., Shi, H. L., Lin, Y. M., Ling, H. Z., Ge, J. (2022). Identification of six novel microalgal strains and characterization of their potential for development of high-value compounds. *South African Journal of Botany*, 147, 1–7.
3. Pahija, E., Hui, C. W. (2021). A practical approach for modelling the growth of microalgae with population balance equation. *New Biotechnology*, 62, 40–48.
4. Hsia, S. Y., Yang, S. K. (2015). Enhancing algal growth by stimulation with LED lighting and ultrasound. *Journal of Nanomaterials*, 16(1), 222–222.
5. Hariram, V., John, J. G., Sangeethkumar, E., Gajalakshmi, B., Ramanathan, V., Vinothkumar, M., ... Balachandar, M. (2022). *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris* – A Prospective Algal Fuel Source. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21(5), 2129–2139.
6. Raju, P. D. R., Neelima, G. (2012). Image segmentation by using histogram thresholding. *International Journal of Computer Science Engineering and Technology*, 2(1), 776–779.
7. Feixas, M., Bardera, A., Rigan, J., Sbert, M., Xu, Q. (2014). Image Segmentation. In: *Information Theory Tools for Image Processing* (pp. 53–73). Cham: Springer International Publishing.
8. Xia, M., Hu, W., Liu, X., Wong, T. T. (2021). Deep halftoning with reversible binary pattern. In: *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision* (pp. 14000–14009).
1. de Andrade C. J., de Andrade L. M. An overview on the application of genus *Chlorella* in biotechnological processes. *J. Adv. Res. Biotechnol.* 2017. No. 2. P. 1–9.
2. Huang M. M., Xin X., Shi H. L., Lin Y. M., Ling H. Z., Ge J. Identification of six novel microalgal strains and characterization of their potential for development of high-value compounds. *South African Journal of Botany.* 2022. No. 147. P. 1–7.
3. Pahija E., Hui C. W. A practical approach for modelling the growth of microalgae with population balance equation. *New Biotechnology.* 2021. No. 62. P. 40–48.
4. Hsia S. Y., Yang S. K. Enhancing algal growth by stimulation with LED lighting and ultrasound. *Journal of Nanomaterials.* 2015. No. 16 (1). P. 222–222.
5. Hariram V., John J. G., Sangeethkumar E., Gajalakshmi B., Ramanathan V., Vinothkumar M. ... Balachandar M. *Scenedesmus obliquus* and *Chlorella vulgaris* – A Prospective Algal Fuel Source. *Nature Environment and Pollution Technology.* 2022. No. 21 (5). P. 2129–2139.
6. Raju P. D. R., Neelima G. Image segmentation by using histogram thresholding. *International Journal of Computer Science Engineering and Technology.* 2012. No. 2 (1). P. 776–779.
7. Feixas M., Bardera A., Rigan J., Sbert M., Xu Q. Image Segmentation. In: *Information Theory Tools for Image Processing.* Cham: Springer International Publishing, 2014. P. 53–73.
8. Xia M., Hu W., Liu X., Wong T. T. Deep halftoning with reversible binary pattern. In: *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision,* 2021. P. 14000–14009.

9. Hill, T., Lewicki, P., Lewicki, P. (2006). Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining. StatSoft, Inc.
10. Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P. Y., Vaca-Garcia, C. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265–278.
11. Novak, D., Maryniaka, K. (2021). Rozroblennia prohramnoho zabezpechennia dlia otsiniuvannia odnorodnosti rozpodilu napovniuvacha v polimernii matrytsi [Development of software for evaluating the homogeneity of the distribution of the filler in the polymer matrix]. *Tekhnolohii ta inzhynirynh = Technologies and Engineering*, 6, 37–44 [in Ukrainian].
12. Novak, D., Budash, Y., Berezenko, N. (2016). Graphic modeling of conductive filler spatial distribution in polymer matrix. *Vlakna a Textil*, 23(2), 37–42.
13. Fu, W., Gudmundsson, O., Feist, A. M., Herjolfsson, G., Brynjolfsson, S., Palsson, B. Ø. (2012). Maximizing biomass productivity and cell density of *Chlorella vulgaris* by using light-emitting diode-based photobioreactor. *Journal of biotechnology*, 161(3), 242–249.
14. Pipes, W. O., Koutsoyannis, S. P. (1962). Light-limited growth of *Chlorella* in continuous cultures. *Applied microbiology*, 10(1), 1–5.
15. Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*, 101(2), 87–96.
16. Fang, W., Jao, J. C. (2004). Review of the application of LEDs in bioindustry. *Journal of the Agricultural Association of China*, 5(5), 432–446.

9. Hill T., Lewicki P., Lewicki P. Statistics: methods and applications: a comprehensive reference for science, industry, and data mining. StatSoft, Inc., 2006.
10. Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P. Y., Vaca-Garcia C. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. No. 35. P. 265–278.
11. Новак Д. С., Мариняка К. А. Розроблення програмного забезпечення для оцінювання однорідності розподілу наповнювача в полімерній матриці. *Технології та інжиніринг*. 2021. № 6. С. 37–44.
12. Novak D., Budash Y., Berezenko N. Graphic modeling of conductive filler spatial distribution in polymer matrix. *Vlakna a Textil*. 2016. No. 23 (2). P. 37–42.
13. Fu W., Gudmundsson O., Feist A. M., Herjolfsson G., Brynjolfsson S., Palsson B. Ø. Maximizing biomass productivity and cell density of *Chlorella vulgaris* by using light-emitting diode-based photobioreactor. *Journal of biotechnology*. 2012. No. 161 (3). P. 242–249.
14. Pipes W. O., Koutsoyannis S. P. Light-limited growth of *Chlorella* in continuous cultures. *Applied microbiology*. 1962. No. 10 (1). P. 1–5.
15. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. Commercial applications of microalgae. *Journal of bioscience and bioengineering*. 2006. No. 101 (2). P. 87–96.
16. Fang W., Jao J. C. Review of the application of LEDs in bioindustry. *Journal of the Agricultural Association of China*. 2004. No. 5 (5). P. 432–446.

NOVAK DMYTRO

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-1796-8857>
Scopus Author ID: 57191836492
Researcher ID: S-6598-2016
E-mail: novak.knutd@gmail.com

SUKALO MAKSYM

Post graduate student
Faculty of Automation and Computer Systems,
National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-3437-8290>
E-mail: biginhunter@gmail.com

¹НОВАК Д. С., ²СУКАЛО М. Л.

¹Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

²Національний університет харчових технологій, Україна

РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КІЛЬКІСНОЇ ОЦІНКИ ПОПУЛЯЦІЇ МІКРОВОДОРОСТЕЙ CHLORELLA VULGARIS

Мета. Розробка програмного забезпечення для кількісної оцінки росту популяції мікрободорості *Chlorella*.

Методика. Програмне забезпечення було розроблено за допомогою мови програмування Python та зовнішніх бібліотек: Numpy, Xlsxwriter, Matplotlib та PIL. Визначено придатність розробленого програмного забезпечення для кількісної оцінки росту популяції мікрободорості *Chlorella* та проведено його верифікацію. Під час верифікації оцінювали ріст популяції мікрободоростей на різних стадіях нарощування біомаси. Зразки мікрободорості *Chlorella* були отримані протягом декількох тижнів росту популяції.

Результати. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє оцінювати ріст популяції мікрободорості *Chlorella* у водному середовищі. За допомогою цього програмного забезпечення отримано залежність коефіцієнта гетерогенності приросту біомаси мікрободорості *Chlorella vulgaris* від часу. Зростання чисельності популяції призводить до зменшення цієї гетерогенності. Цей ефект можна пояснити наявністю оптимальних умов для культивування мікрободорості *Chlorella vulgaris*.

Наукова новизна. Визначено вплив росту популяції мікрободорості *Chlorella* на гомогенність системи. Встановлено, що збільшення вмісту біомаси *Chlorella vulgaris* протягом 4 тижнів призводить до зниження коефіцієнта гетерогенності з 92% до 47%, що пов'язано з агрегацією мікрободорості *Chlorella vulgaris* у водному середовищі.

Практичне значення. Розроблене програмне забезпечення дозволяє кількісно оцінювати ріст популяції мікрободорості *Chlorella vulgaris* у водному середовищі та може бути використане для контролю росту біомаси водоростей у промисловому виробництві.

Висновок. Розроблено програмне забезпечення, яке дозволяє оцінити рівномірність розподілу приросту популяції мікрободоростей *Chlorella vulgaris* у біомасі. Його можна використовувати для дослідження рівня концентрації мікроорганізмів у водному середовищі. Результати його перевірки свідчать про придатність розробленого програмного забезпечення до практичного використання. За допомогою розробленого програмного забезпечення визначено вплив на зростання біомаси мікрободоростей *Chlorella vulgaris* у водному середовищі. Показано, що зростання популяції мікрободоростей *Chlorella vulgaris* від 1 до 4 тижнів призводить до зниження індексу змішування з 93% до 47%, що зумовлено наявністю оптимальних умов для культивування мікрободоростей *Chlorella vulgaris*. Методика дослідження може бути використана при розробці автоматизованих комплексів моніторингу екологічного стану водних ресурсів та контролю промислової продукції мікрободоростей *Chlorella vulgaris*.

Ключові слова: програмне забезпечення екологічного моніторингу; індекс змішування неоднорідності; *Chlorella vulgaris*.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.9>

УДК 675.
044/.045

ЗАЄЦЬ А. В., АНДРЕЄВА О. А.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

СПЕКТРОСКОПІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ ТА ВЗАЄМОДІЇ З КОЛАГЕНОМ МОДИФІКОВАНИХ ЖИРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Метою дослідження є аналіз хімічної природи нових комерційних модифікованих жирувальних матеріалів, отриманих на базі сульфованих, сульфитованих, окиснених природних і синтетичних жирів, а також визначення особливостей взаємодії в системі «колаген-жирувальний матеріал», що дозволить прогнозувати поведінку цих матеріалів під час рідинного оздоблення шкіри.

Методика. Для реалізації поставленої мети використано спектральний аналіз та інтерпретацію спектрів модифікованих жирувальних матеріалів та желатину, як моделі колагену, обробленого цими матеріалами. Досліджено нові жирувальні засоби фірми Smit & Zoop (Нідерланди): Sulphirool EG 60 – сульфитовані натуральні та синтетичні жири; Synthol LC – натуральні та синтетичні жири, сульфовані тригліцериди, лецитинвмісна суміш; Sulphirool C – окиснені сульфитовані жири на базі жирів морських риб. Хімічну природу аналізованих матеріалів та їх взаємодію з желатином вивчали за допомогою методу інфрачервоної спектроскопії. Дослідження проводили на інфрачервоному (FTIR) спектрометрі, призначеному для отримання інфрачервоних спектрів пропускання або відбиття досліджуваних об'єктів.

Результати проведеного дослідження. Експериментально встановлено, що через наявність різноманітних функціональних груп та зв'язків нові модифіковані жирувальні матеріали мають поліфункціональну природу і можуть взаємодіяти з желатином з утворенням у його структурі нових (водневих, електровалентних, ковалентних і т.і.) зв'язків. На підставі дослідження відносної оптичної густини плівок хромованого желатину до та після оброблення модифікованими жирувальними матеріалами виявлено, що найбільшу участь у цій взаємодії беруть сірко- та фосфоровмісні групи жирів та азотовмісні (амінні, імінні, амідні) групи желатину, менш активні його кисневмісні (гідроксильні та карбонільні) групи. Серед досліджуваних жирувальних матеріалів більшу активність у взаємодії з желатином виявляють сульфитований жир Sulphirool EG 60 та сульфований лецитинвмісний Synthol LC, ніж жирувальний матеріал Sulphirool C, синтезований на базі окиснених і сульфитованих жирів морських риб. Виявлена здатність модифікованих жирувальних матеріалів до взаємодії з желатином, а, отже, і з колагеном, сприятиме попередженню перерозподілу їх у дермі або вилучення з неї, що позитивно позначиться на стабільності структури і властивостей шкіри та шкіряних виробів.

Наукова новизна полягає у визначенні хімічної природи нових модифікованих жирувальних матеріалів різного походження, призначених для оброблення шкіри, а також характеру їх взаємодії з желатином – моделлю колагену, який є основною складовою дерми шкірного покриву тварин і натуральної шкіри, яку з нього виготовляють. Це дозволить пояснити особливості перетворень у системі «колаген-жирувальний матеріал» під час рідинного оздоблення, їх вплив на формування структури та властивості шкіри.

Практична значимість. Результати роботи сприятимуть розширенню асортименту та обґрунтованому використанню хімічних реагентів нового покоління в інноваційних технологіях виробництва шкір сучасного асортименту.

Ключові слова: шкіряне виробництво; модифіковані жирувальні матеріали; хімічна природа; колаген; желатин; ІЧ-спектроскопія.

Вступ. Високі вимоги сьогодення до споживчих властивостей виробів з натуральної шкіри та загальний дефіцит вітчизняних хімічних матеріалів створюють нагальну потребу у пошуку нових, більш ефективних засобів та препаратів [1–6]. На підготовчих етапах виробництва натуральної шкіри при зневолошуванні, золінні, м'якшенні, знежирюванні та пікелюванні більша частина натуральних жирових речовин видаляється зі шкіри, а після дублення їх вміст у шкіряному напівфабрикаті стає недостатнім для запобігання висиханню дерми з утворенням сухого, твердого матеріалу, що важко піддається обробленню. Тому для

отримання готової шкіри з необхідними споживчими властивостями необхідно виконувати її «змащування» або жирування: це захищає шкіру від розтріскування, оскільки запобігає злипанню колагенових волокон при сушінні. Основними характеристиками шкіри, просоченої жиром, є м'якість, приємний дотик і певний ступінь водовідштовхувальних властивостей. Впливає жирування і на такі важливі фізико-механічні характеристики, як міцність на розрив, міцність лицьового шару та гігієнічні властивості шкіри, особливо для одягу та взуття. Ефективність процесу значною мірою визначається рівнем структури колагену, до якого мастильний матеріал (жир) проникає по структурній ієрархії, та від здатності матеріалу дозволяти структурним елементам ковзати один щодо одного [7–9]. Таким чином, уявлення про будову та властивості жирувальних матеріалів має важливе значення для удосконалення існуючих та створення сучасних технологій рідинного оздоблення шкіри, одним з провідних процесів якого є жирування.

Постановка завдання. Зростання попиту на високоякісні конкурентоспроможні вироби з натуральної шкіри обумовлює потребу в інноваційних технологіях її виготовлення. Розроблення та впровадження таких технологій неможливі без пошуку, дослідження та використання ефективних хімічних матеріалів на різних стадіях шкіряного виробництва, у тому числі під час рідинного оздоблення, яке після дублення продовжує формувати структуру та властивості дерми. На кафедрі біотехнології, шкіри та хутра КНУТД протягом багатьох років проводяться комплексні дослідження сучасних хімічних матеріалів та їх впровадження в технології рідинного оздоблення шкіри [1–3, 10–14]. Як перший крок до обґрунтованого застосування в інноваційній технології виробництва еластичної шкіри авторами [15–17] проаналізовано фізико-хімічні властивості нової серії комерційних модифікованих жирувальних матеріалів, одержаних на базі сульфонованих, сульфітованих та окиснених природних і синтетичних жирів. Встановлено, що всі вони здатні утворювати гомогенні емульсії типу «масло/вода», стійкі у часі в діапазоні рН = 7–8,5, що вказує на можливість їх використання для виготовлення шкіри, насамперед, під час рідинного оздоблення. Проте, для прогнозування впливу зазначених жирів на перебіг технологічного процесу та властивості дерми важливо мати більш повне уявлення про хімічну природу цих реагентів та особливості взаємодії у системі «колаген-жирувальний матеріал». Ефективним аналітичним інструментом для визначення функціональних груп та характеру хімічних зв'язків в аналізованій речовині та системі «колаген-хімічний реагент» вважається інфрачервона (ІЧ) спектроскопія. З урахуванням викладеного поставлено завдання провести спектроскопічні (а саме ІЧ-спектроскопічні) дослідження особливостей будови, хімічної природи та взаємодії з колагеном нових модифікованих жирувальних матеріалів, що дозволить передбачити їх поведінку, а, отже, і доцільність використання у рідинному оздобленні шкіри у напрямку покращення її споживчих характеристик.

Методологія досліджень. Дослідження проводили на приладі Spectrum BX Perkin Elmer (США) в діапазоні частот 400–4000 см⁻¹. Для реєстрації ІЧ-спектрів жирувальних матеріалів одну краплю досліджуваного жиру розміщали між двома таблетками броміду калію. Для визначення особливостей взаємодії жирів з колагеном у якості моделі останнього застосували желатин у вигляді 5%-го розчину, який спочатку обробляли хромовим дубителем при витраті 2,0% від маси желатину (у перерахунку на оксид хрому) і температурі 20 °С протягом 1,0 год, а потім протягом ще 1,0 год жирувальною емульсією при температурі 50 °С і витраті жиру 10,0% від маси желатину (у перерахунку на активну речовину). Жирувальні емульсії 25%-вої концентрації готували шляхом додавання гарячої (55–60 °С) води до наважки жиру при постійному перемішуванні. Після сушіння та ретельного подрібнення одержані желатинові плівки пресували з бромідом калію у таблетки товщиною, достатньою для того, щоб максимум робочих смуг коливання знаходився в області 20–80% пропускання.

Аналіз результатів експерименту виконували інтерпретацією спектральних кривих на підставі відкритої інформації в галузі інфрачервоної спектроскопії [18–28] та визначення показника відносної оптичної густини Di/Do .

При обробленні ІЧ-спектрів застосували два методи [1, 12–13]: а) *метод базової лінії*, що заснований на знятті спектра поглинання досліджуваної речовини та проведенні дотичної лінії до мінімумів оптичної густини або максимумів пропускання і служить для визначення оптичної густини Di при певній частоті; б) *метод внутрішнього стандарту*, який дає змогу визначити відносну оптичну густину Di/Do внаслідок віднесення оптичної густини Di при певній частоті до оптичної густини Do при тій частоті, за якої вона залишається незмінною (наприклад, Di/D_{2854} при віднесенні Di до D_{2854} при частоті 2854 см^{-1} , а також Di/D_{1378} при віднесенні Di до D_{1378} при частоті 1378 см^{-1} . Ці частоти відповідають валентним і деформаційним коливанням груп CH , CH_2 , CH_3 , для яких показник Do суттєво не змінюється).

Особливості взаємодії у системі «колаген-жирувальний матеріал» визначали за таким алгоритмом. Спочатку встановлювали наявність функціональних груп та зв'язків у структурі желатину до та після оброблення певним жиром (наприклад, Sulphirool EG60); потім на підставі одержаних даних визначали зміну відносної оптичної густини хромованого желатину за показником Z , який розраховували діленням показника відносної оптичної густини вихідного хромованого желатину $Di/Do_{(ХЖ)}$ на показник його відносної оптичної густини після оброблення модифікованим жирувальним матеріалом $Di/Do_{(ХЖ+МЖМ)}$.

Результати дослідження. Перш, ніж перейти до обговорення результатів дослідження, згадаємо традиційне уявлення про жири як основну складову досліджуваних матеріалів. Жири належать до такого класу органічних хімічних речовин як ліпіди. З хімічної точки зору вони являють собою гліцериди у вигляді суміші ефірів довголанцюгових карбонових (або жирних) кислот із 12-18 атомів вуглецю в молекулі та гліцерину. Молекули жирів можуть містити залишки різних карбонових кислот. Залежно від наявності множинних зв'язків у структурі кислот розпізнають насичені та ненасичені жири. На практиці з метою покращення властивостей жирів їх модифікують шляхом введення в структуру додаткових функціональних груп (сірко-, хлорвмісних і т.і.).

Експериментальні ІЧ-спектри зразків аналізованих жирів показано на рис. 1, а їх інтерпретацію та відносну оптичну густину Di/Do наведено у табл. 1.

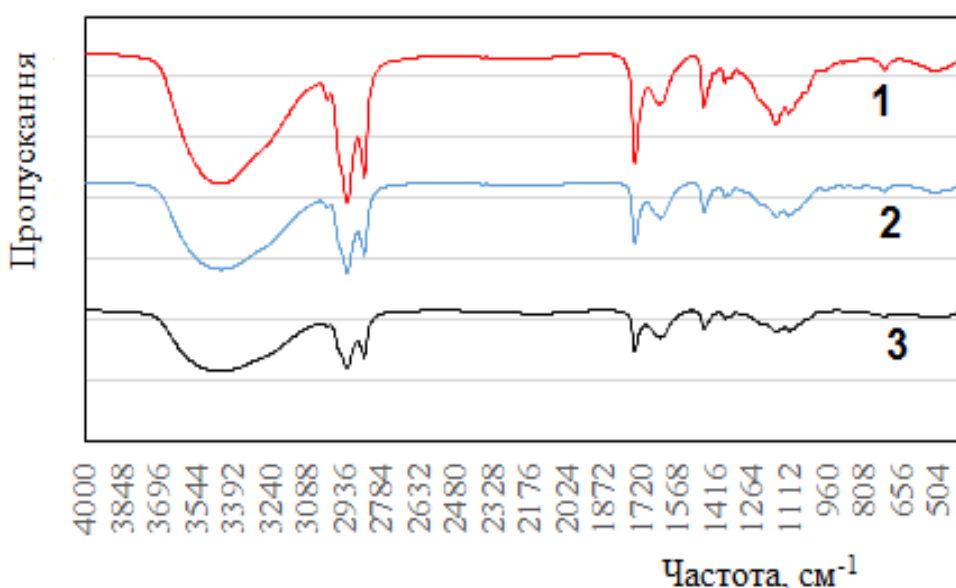


Рис. 1. Вихідні ІЧ-спектри модифікованих жирувальних матеріалів:
1 – Sulphirool EG60; 2 – Sulphirool C; 3 – Synthol LC

Таблиця 1

Інтерпретація та відносна оптична густина
 ІЧ-спектрів модифікованих жирувальних матеріалів

Частота ν , см ⁻¹ *	Інтерпретація (природа груп та сполук)	$D_i/D_o / \nu$		
		Sulphiorol EG 60	Sulphiorol C	Synthol LC
3440–3456 с., уш.	валентні коливання групи OH	<u>6,39</u> 3444	<u>1,29</u> 3440	<u>0,81</u> 3456
3006–3008 срд.	валентні коливання групи CH при подвійному зв'язку =CH	<u>0,04</u> 3008	<u>0,07</u> 3008	<u>0,09</u> 3006
2854–2924 с.	валентні коливання CH в групі CH ₂ жирних кислот; валентні коливання групи CH ₂	<u>2,49</u> 2924	<u>5,01</u> 2924	<u>4,31</u> 2924
		<u>1,00</u> 2854	<u>1,00</u> 2854	<u>1,00</u> 2854
1746 с.	валентні коливання карбонільних груп C=O залишків жирних кислот у структурі тригліцеридів	<u>15,48</u> 1746	<u>16,48</u> 1746	<u>24,75</u> 1746
1644 с.	валентні коливання =CH-угруповань	<u>6,75</u> 1644	<u>3,31</u> 1644	<u>1,73</u> 1644
1464 срд.	наявність групи CH ₂ , що підтверджує наявність фрагментів вищих аліфатичних кислот	<u>5,17</u> 1464	<u>6,56</u> 1464	<u>5,71</u> 1464
1378 сл.	деформаційні коливання зв'язку -CH центрального атома гліцеринового фрагмента в жирах; деформаційні коливання групи CH ₃ алканів	<u>1,00</u> 1378	<u>1,00</u> 1378	<u>1,00</u> 1378
1354 сл.	деформаційні коливання групи OH спиртів, кислот	<u>0,26</u> 1354	<u>0,66</u> 1354	<u>0,35</u> 1354
1238 с.	валентні коливання зв'язку P=O	–	–	<u>1,14</u> 1238
1234–1236 срд.	валентні коливання групи CO в спиртах	<u>0,48</u> 1234	<u>0,89</u> 1236	–
1164–1168 с.	валентні коливання зв'язку -CO- у ефірів вищих карбонових кислот	<u>2,61</u> 1164	<u>1,51</u> 1166	<u>5,38</u> 1168
1114–1118 с.	деформаційні коливання групи CH жирних кислот	<u>1,94</u> 1114	<u>2,19</u> 1116	<u>1,49</u> 1118
1044 с., сл.	валентні коливання аніона SO ₃ ²⁻	<u>0,34</u> 1044	–	<u>1,63</u> <u>1044</u>
968–974 сл.	згинальні коливання групи CH в ізольованих транс-алкенах	<u>0,28</u> 974	<u>0,82</u> 968	<u>0,49</u> 974
722 сл.	валентні коливання групи C-S	<u>1,26</u> 722	<u>1,19</u> 722	<u>1,83</u> <u>722</u>
524 сл., уш.	валентні коливання групи SO ₃	<u>1,63</u> 516.	<u>0,58</u> 515	<u>1,36</u> 524
466 срд., уш.	валентні коливання групи SO ₃	–	<u>0,53</u> 466	–

Примітка: * с. – сильні, уш. – уширені, срд. – середні, сл. – слабкі.

З наведених даних видно спектральні відмінності досліджуваних матеріалів, що виявляються у варіюванні інтенсивності, формі та розширенні смуг. Незалежно від виду

жирувального матеріалу основні види коливань функціональних угруповань локалізовані у певних, дуже вузьких інтервалах електромагнітного спектра, де спостерігаються такі характерні смуги:

- сильна уширена смуга при частоті 3440–3456 cm^{-1} , яка відповідає асиметричним валентним коливанням групи OH;
- смуга в області 3006–3008 і 1644 cm^{-1} , яку можна ототожнювати з валентними коливаннями подвійного зв'язку;
- ряд смуг в області 2854–2924 та 1464 cm^{-1} демонструють наявність групи CH_2 , що підтверджує присутність у зразках жиру фрагментів вищих аліфатичних кислот;
- вузька інтенсивна смуга при частоті 1746 cm^{-1} може належати валентним коливанням карбонільних груп $\text{C}=\text{O}$ залишків жирних кислот у структурі тригліцеридів;
- смуга при частоті 1378 cm^{-1} характеризує деформаційні коливання зв'язку $-\text{CH}-$ центрального атома гліцеринового фрагмента, деформаційні коливання групи CH_3 алканів;
- смуга при частоті 1354 cm^{-1} обумовлена деформаційними коливаннями OH-групи спиртів, кислот;
- смуга при 1234–1236 cm^{-1} відповідає валентним коливанням групи CO спиртів;
- смуга при 1164–1168 cm^{-1} викликана валентними коливаннями зв'язку $-\text{CO}-$, що притаманно ефірам вищих карбонових кислот;
- смуга 1114–1118 cm^{-1} характеризує деформаційні коливання груп CH жирних кислот;
- ряд смуг в області 1044 та 466–722 cm^{-1} можна пояснити валентними коливаннями сірковмісних груп C-S та SO_3 .

Поява в спектрі жирувального матеріалу Synthol LC доволі сильної смуги при 1238 cm^{-1} обумовлена, скоріш за все, валентними коливаннями зв'язку $\text{P}=\text{O}$, оскільки цей матеріал є лецитиновою сумішшю. Як відомо, під терміном «лецитини» розуміють групу амфіфільних жироподібних речовин (залучають як воду, так і жирні речовини, і тому є як гідрофільними, так і ліпофільними), що представляють собою суміш *фосфоліпідів* (65–75%) з тригліцеридами і невеличкою кількістю інших речовин. Лецитини широко використовуються у харчовій, косметичній і легкій промисловості, оскільки є природними емульгаторами. Комерційний лецитин отримують переважно із соєвої олії, проте, є дослідження з використання у якості сировини фосфатидів соняшникової олії [26–28].

Викладене вище дозволило зробити висновки про те, що через наявність різноманітних функціональних груп та зв'язків досліджувані жирувальні матеріали мають поліфункціональну природу, а це вже є підставою для передбачення їх здатності до взаємодії з колагеном під час оброблення шкіри. Важливість підтвердження такого передбачення можна пояснити наступними аргументами. Під час експлуатації шкіряних виробів змінювання властивостей шкіри може призвести до погіршення якості виробів через перерозподіл введених в дерму речовин або видалення їх з неї. Згадане стосується і матеріалів, призначених для рідинного оздоблення, насамперед, процесів наповнювання та жирування. Перерозподіл або вимивання згаданих хімічних матеріалів може значно погіршити такі важливі характеристики шкіри як рівномірність наповнення структури, міцність, пружно-пластичні та гігієнічні властивості, формостійкість тощо [29]. З урахуванням цього впливає потреба у визначенні можливої взаємодії між хімічними матеріалами та структурними елементами дерми.

Результати порівняння спектрів вихідного хромованого желатину (рис. 2, крива 1) та обробленого певним модифікованим жиром, наприклад, Sulphirool EG 60 (рис. 2, крива 2), а також відносної оптичної густини характеристичних смуг поглинання (табл. 2) свідчать про певні перетворення у структурі желатину внаслідок оброблення жиром. Це виявляється у зміні характеру кривих та інтенсивності поглинання світла, отже, й відносної оптичної густини для окремих спектральних смуг.

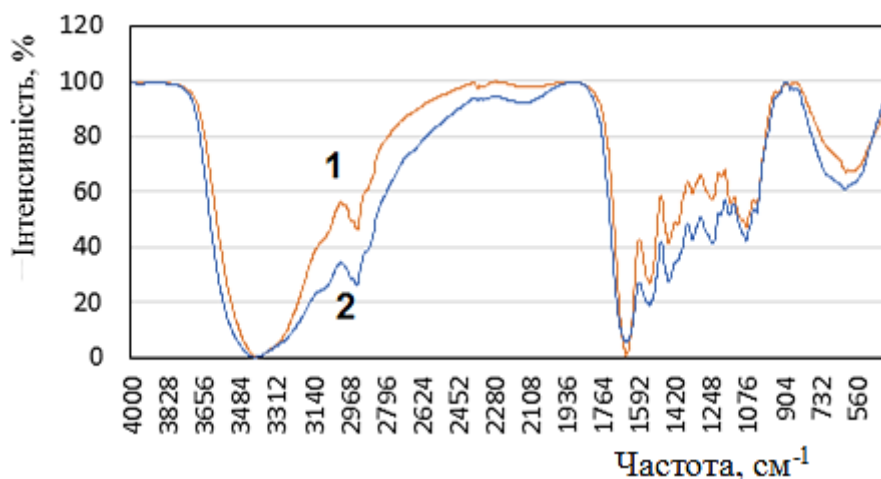


Рис. 2. Вихідні ІЧ-спектри хромованого желатину до (1) та після оброблення жирувальним матеріалом (Sulphiroil EG 60) (2)

Таблиця 2

Основні смуги поглинання в ІЧ-спектрах хромованого желатину до та після оброблення жирувальними матеріалами

Інтерпретація (природа груп та сполук) *	Експериментальні дані $D_i/D_o / \nu$				Зміна відносної оптичної густини Z^{**}		
	Хромований желатин	Хромований желатин + Sulphiroil EG 60	Хромований желатин + Sulphiroil C	Хромований желатин + Synthol LC	Хромований желатин + Sulphiroil EG 60	Хромований желатин + Sulphiroil C	Хромований желатин + Synthol LC
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>
3330-3400 с. Амід А (ν NH); іміни (ν C=N), що перекриваються між- та внутрішньо-молекулярними водневими зв'язками бічних ланцюгів; 3200-3500 с., уш. ν OH спиртів (зв'язан.); 3400-3500 с. ν NH ₂ амінів первин.	<u>48,74</u> 3402	<u>35,51</u> 3408	<u>26,0</u> 3392	<u>17,0</u> 3424	1,37	1,87	2,87
3020-3100 сл. ν CH алкенів	<u>0,64</u> 3074	<u>0,65</u> 3086	<u>0,78</u> 3080	<u>0,74</u> 3078	0,98	0,82	0,86
3000-3100 сл. ν CH алкенів	–	–	–	<u>0,25</u> 2966	–	–	+
2915-2940 с. $\nu_{ас}$ CH ₂ алканів	<u>0,99</u> 2926	<u>0,99</u> 2928	<u>1,00</u> 2926	<u>0,99</u> 2926	1,00	0,99	1,00
2854 срд. ν CH алканів	–	–	<u>0,13</u> 2854	–	–	+	–
1650-1850 с. ν C=O карбонільних сполук	–	–	<u>7,14</u> 1746	–	–	+	–

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
1640-1665 с. Амід I (80 % ν CO; 10 % ν CN; 10 % δ NH); 1650-1850 с. ν C=O альдегідів	<u>33,19</u> 1652	<u>14,10</u> 1652	<u>31,33</u> 1652	<u>17,93</u> 1648	2,35	1,06	1,85
1530-1560 срд. Амід II (40 % δ CN, 60 % δ NH)	<u>5,14</u> 1538	<u>3,83</u> 1538	<u>7,82</u> 1544	<u>4,70</u> 1542	1,34	0,66	1,09
1452-1456 с. δ CH ₂ алканів	<u>2,22</u> 1454	<u>2,28</u> 1454	<u>5,81</u> 1456	<u>2,94</u> 1452	0,97	0,38	0,76
1400-1440 с. δ OH спиртів	<u>1,00</u> 1408	<u>0,80</u> 1408	–	<u>0,99</u> 1406	1,25	–	0,99
1340-1370 срд. δ CH ₃ алканів	<u>0,72</u> 1336	<u>1,01</u> 1336	<u>0,99</u> 1338	<u>1,01</u> 1340	0,71	0,72	0,71
1230-1250 срд. Амід III (10 % ν CO; 30 % ν CN; 30 % δ NH; 10 % δ O=CN); ν CN амінів втор., трет.	<u>1,27</u> 1244	<u>1,59</u> 1242	<u>2,43</u> 1240	<u>1,59</u> 1244	0,80	0,52	1,25
1150-1250 срд. ν C-N амінів втор., трет.	<u>1,02</u> 1156	<u>0,58</u> 1162	<u>2,81</u> 1162	<u>0,90</u> 1160	1,76	0,36	1,13
1030-1125 с. інші коливання, зв'язані з COH спиртів втор.	<u>1,03</u> 1080	<u>0,67</u> 1082	<u>1,50</u> 1084	<u>1,69</u> 1084	1,53	0,69	0,60
1000-1075 с. інші коливання, зв'язані з COH спиртів перв.; 1030-1125 с. інші коливання, зв'язані з COH спиртів втор	<u>1,33</u> 1032	<u>0,91</u> 1031	<u>1,59</u> 1048	<u>1,08</u> 1052	1,46	0,84	1,23
570-608 срд., уш. Амід V (ν NH); δ CH транс- та цис-алкенів; δ OH спиртів (зв'язан.)	<u>1,51</u> 572	<u>3,19</u> 608	<u>1,72</u> 606	<u>1,97</u> 572	0,47	0,88	0,78
ЗАГАЛ Z :					9,97	6,50	10,13

Примітки: * ν – валентні, $\nu_{ас}$ – валентні асиметричні, δ – деформаційні коливання;

** «+» – поява нової смуги; «-» – відсутність взаємодії або появи смуги.

Підвищення показника Z (понад 1) у разі зменшення показника відносної оптичної густини після оброблення желатину жирувальними матеріалами (табл. 2) можна пояснити взаємодією білка з цими матеріалами з утворенням різних (водневих, електровалентних, ковалентних і т.і.) нових зв'язків. Наприклад, при введенні в желатин модифікованих жирів через часткове руйнування водневих та інших видів зв'язків у структурі желатину можна передбачити формування нових типів асоціацій, у яких беруть участь аміно-, іміно- та амідні групи желатину, з одного боку, та сірко- і фосфовмісні групи жиру, з іншого. На це вказує величина показника Z (не менше 1,25) в області частот близько 3400, 1650, 1540, 1240 та 1160 см⁻¹. Проте, якщо у разі використання сульфітованого жиру Sulphitol EG 60 смугу при 1652 см⁻¹ ототожнювати з валентними коливаннями карбонільної групи C=O альдегідів, то не

виключається механізм нуклеофільного приєднання – утворення хімічного зв'язку між електрофільним атомом вуглецю карбонільної групи та іншим, невуглецевим атомом S-нуклеофілу у складі сульфїт- або гідросульфїт-іону жиру [24].

Про можливу взаємодію модифікованих жирів (наприклад, їх складових у вигляді карбонових кислот) з ОН-групами желатину свідчить зміна відносної оптичної густини в області частот 1408, 1082, 1052, 1031 cm^{-1} , і, не виключено, близько 3400 cm^{-1} (показник Z знаходиться на рівні 1,23–1,53).

При збільшенні інтенсивності смуг на спектрограмах желатину після оброблення модифікованими жирувальними матеріалами зменшення показника Z (менше 1) можна пояснити руйнуванням існуючих зв'язків без утворення нових та/або проявом коливання певних угруповань цих реагентів. Наприклад, валентними коливаннями груп CH , CH_2 алкенів та алканів в області $\sim 3080, 2920 \text{ cm}^{-1}$ або деформаційними коливаннями групи CH_2 алканів при частоті 1450 cm^{-1} .

Появу смуги при частоті 2966 cm^{-1} для жирувального матеріалу Synthol LC, або при 2854 та 1746 cm^{-1} для Sulphirool C можна розцінювати як прояв валентних коливань груп CH , CH_2 алканів або валентних коливань карбонільної групи $\text{C}=\text{O}$ залишків жирних кислот у структурі тригліцеридів.

Таким чином, за результатами спектроскопічних досліджень системи «колаген-жирувальний матеріал» можна зробити висновок про те, що досліджувані жирувальні матеріали здатні взаємодіяти з желатином, при цьому з боку желатину найбільшу участь у цій взаємодії беруть азотовмісні (амінні, імінні, амідні), меншою мірою – кисневмісні (гідроксильні та карбонільні) групи; з боку жирів задіяні сірко- та фосфоровмісні групи. В цілому за підсумковим показником Z жирувальні матеріали Sulphirool EG 60 та Synthol LC в 1,5–1,6 рази активніші від жирувального матеріалу Sulphirool C.

Висновки. Проведена робота є складовою комплексного дослідження хімічних матеріалів нового покоління з метою підтвердження доцільності їх використання в інноваційній технології рідинного оздоблення шкір сучасного асортименту. Для формування уявлення про хімічну природу серії нових модифікованих жирувальних матеріалів та особливостей їх взаємодії з колагеном проведено ІЧ-спектроскопічні дослідження як самих матеріалів, так і плівок хромованого желатину, як моделі колагену, після оброблення цими матеріалами.

Результати дослідження свідчать про те, що через наявність різноманітних функціональних груп та зв'язків аналізовані жирувальні матеріали мають поліфункціональну природу і можуть взаємодіяти з желатином з утворенням у його структурі різних (водневих, електровалентних, ковалентних і т.і.) зв'язків. Найбільшу участь у взаємодії із сірко- та фосфоровмісними групами жирів беруть азотовмісні (амінні, імінні, амідні) групи желатину, меншою мірою – його кисневмісні (гідроксильні та карбонільні) групи. За зміною відносної оптичної густини хромованого желатину після оброблення жирами більша активність притаманна сульфїтованому препарату Sulphirool EG 60 та сульфонованому лецитинвмісному препарату Synthol LC у порівнянні з препаратом Sulphirool C, синтезованим на базі окиснених і сульфїтованих жирів морських риб. Виявлена здатність досліджуваних матеріалів до взаємодії з желатином, отже, і з колагеном, сприятиме попередженню перерозподілу жиру в дермі, що позитивно позначиться на стабільності її структури та властивостей на подальших стадіях життєвого циклу шкіри.

Одержана інформація буде використана у нових дослідженнях, присвячених розкриттю технологічних можливостей модифікованих жирувальних матеріалів під час рідинного оздоблення шкіряного напівфабрикату, визначенню впливу умов оброблення на мікроструктуру колагену дерми та показники якості шкіри.

References

1. Horbachov, A. A., Kerner, S. M., Andreieva, O. A., Orlova, O. D. (2007). *Osnovy stvorennia suchasnykh tekhnolohii vyrobnytstva shkiry ta khutra: monohrafiia* [Basics of creation of modern technologies of leather and fur production: monograph]. Kyiv: KNUTD. 190 p. [in Ukrainian].
2. Danylkovych, A. H., Gryshchenko, I. M., Lishchuk, V. I., Plavan, V. P., Kasian, E. Ye. et al. (2012). *Innovatsiini tekhnolohii vyrobnytstva shkirianykh i khutrovykh materialiv ta vyrobiv: monohrafiia* [Innovative technologies for the production of leather and fur materials and products: monograph]. Ed. A. H. Danylkovych. Kyiv: Feniks. 344 p. [in Ukrainian].
3. Gryshchenko, I. M., Danylkovych, A. H., Mokrousova, O. R. (2013). *Polifunktionalni shkiriani materialy: monohrafiia* [Polyfunctional leather materials: monograph]. Kyiv: Feniks. 268 p. [in Ukrainian].
4. Rhema Hans. *Best Practices for Leather Manufacturing Quality Control. Descera Blog*. URL: <https://www.deskera.com/blog/best-practices-for-leather-manufacturing-quality-control/>
5. Trandafir, N., Pinteală, A., Mocanu, M., Dumitrescu, C. D. (2014). *Quality assessment of leather products using the method of absolute value parameters. Proceeding of ICAMS 2014 – 5th International Conference on Advanced Materials and Systems, 23rd–25th October 2014, Bucharest, Romania*. P. 701–706. URL: https://icams.ro/icamsresource/2014/full_papers/7_Quality_Management_and_Competitiveness/13.pdf.
6. Abduletif Hebo (2023). *Significance of "Quality Control" in Leather Goods and Garment Production. Quality Control / An Anthology of Cases: monograph*. Ed. by Leo D. Kounis. London, UK: Intech Open. P. 249. DOI: 10.5772/intechopen.104494.
7. Thorstensen, T. C. (1992). *Practical Leather Technology: subsequent edition*. Malabar, Florida: Krieger Pub Co, 1992. 350 p.
8. Zhuravskiy, V. A., Kasian, E. Ye., Danylkovych, A. H. (1996). *Tekhnolohiia shkiry ta khutra: pidruchnyk* [Leather and fur technology: a textbook]. Kyiv: KNUTD. 744 p. [in Ukrainian].
9. Covington, A. D. (2009). *Tanning Chemistry: The Science of Leather*. London: CPI Group Ltd. 484 p.
10. Andreieva, O. A. (2005). *Vyznachennia neobkhidnosti rozrobky resursozberihaiuchykh tekhnolohii ridynnoho ozdoblivannia shkir* [Determination of the need to develop resource-saving technologies for liquid skin finishing].

Література

1. Горбачов А. А., Кернер С. М., Андреева О. А., Орлова О. Д. *Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра: монографія*. Київ: КНУТД, 2007. 190 с.
2. Данилкович А. Г., Грищенко І. М., Ліщук В. І., Плаван В. П. та ін. *Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів: монографія*. За ред. А. Г. Данилковича. Київ: Фенікс, 2012. 344 с.
3. Грищенко І. М., Данилкович А. Г., Мокроусова О. Р. *Полифункціональні шкіряні матеріали: монографія*. Київ: Фенікс, 2013. 268 с.
4. Rhema Hans. *Best Practices for Leather Manufacturing Quality Control. Descera Blog*. URL: <https://www.deskera.com/blog/best-practices-for-leather-manufacturing-quality-control/>
5. Trandafir N., Pinteală A., Mocanu M., Dumitrescu C. D. *Quality assessment of leather products using the method of absolute value parameters. Proceeding of ICAMS 2014 – 5th International Conference on Advanced Materials and Systems, 23rd–25th October 2014, Bucharest, Romania*. P. 701–706. URL: https://icams.ro/icamsresource/2014/full_papers/7_Quality_Management_and_Competitiveness/13.pdf.
6. Abduletif Hebo. *Significance of "Quality Control" in Leather Goods and Garment Production. Quality Control / An Anthology of Cases: monograph*. Ed. by Leo D. Kounis. London, UK: Intech Open, 2023. P. 249. DOI: 10.5772/intechopen.104494.
7. Thorstensen T. C. *Practical Leather Technology: subsequent edition*. Malabar, Florida: Krieger Pub Co, 1992. 350 p.
8. Журавський В. А., Касьян Е. Є., Данилкович А. Г. *Технологія шкіри та хутра: підручник*. Київ: КНУТД, 1996. 744 с.
9. Covington A. D. *Tanning Chemistry: The Science of Leather*. London: CPI Group Ltd, 2009. 484 p.
10. Андреева О. А. *Визначення необхідності розробки ресурсозберігаючих технологій рідинного оздоблювання шкір. Легка промисловість*. 2005. № 1. С. 49–50. URL:

- Lehka promyslovist = Light industry*, № 1, P. 49–50 [in Ukrainian]. URL: <https://lp.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/7/2016/02/1-2005.pdf> [in Ukrainian].
11. Pervaia, N. V., Andreieva, O. A., Loshkarova, I. I. (2019). Suchasni trendy vdoskonalennia protsesiv ridynnoho ozdoblennia shkiry [Modern trends in the improvement of liquid skin finishing processes]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*, № 5 (277), P. 126–133, DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-126-133 [in Ukrainian].
12. Pervaia, N. V., Andreieva, O. A. (2019). Fyzyko-khimichni ta ICh-spektroskopichni doslidzhennia novykh zhyruvalnykh preparativ [Physico-chemical and IR-spectroscopic studies of new fattening preparations]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnologii ta dizainu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technologies and Design. Series: Technical sciences*, № 6 (140), P. 81–94, DOI: 10.30857/1813-6796.2019.6.8. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/14940/1/V140_P081-094.pdf [in Ukrainian].
13. Nikonova, A. V., Andreieva, O. A. (2023). Resursooshchadna tekhnolohiia vyrobnytstva odiahovykh shkir: monohrafiia [Resource-saving technology of clothing leather production: monograph]. Ed. O. A. Andreieva. Kyiv: KNUTD. 172 p. [in Ukrainian].
14. Zaiets, A., Andreieva, O. (2023). Tradytsiini pidkhody i novitni rozrobky v oblasti ridynnoho ozdoblennia naturalnoi shkiry [Traditional approaches and the latest developments in the field of liquid decoration of genuine leather]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Series: Technical sciences*, № 4 (323), P. 131–138. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-131-137 [in Ukrainian].
15. Zaiets, A. V., Andreieva, O. A. (2023). Doslidzhennia suchasnykh modyfikovanykh zhyruvalnykh materialiv [Research of modern modified Lubricating materials]. *Osvita dlia staloho maibutnoho: ekolohichni, tekhnolohichni, ekonomichni i sotsiokulturni pytannia: kolektyvna monohrafiia za materialamy Vseukrainskoi naukovoï konferentsii*. Kyiv: KNUTD. P. 282–286 [in Ukrainian].
16. Zaiets, A. V., Andreieva, O. A. (2022). Doslidzhennia stiikosti emulsii modyfikovanykh zhyruvalnykh materialiv [Study of stability of emulsions of modified Lubricating materials]. *Progressive research in the modern world: Proceedings of the 4th International scientific and practical conference*, 28–30 December 2022, Boston: BoScience Publisher. P. 212–219. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2022/12/PROGRESSIVE-RESEARCH->
- <https://lp.knutd.edu.ua/wp-content/uploads/sites/7/2016/02/1-2005.pdf>.
11. Первая Н. В., Андреева О. А., Лошкарёва И. И. Сучасні тренди вдосконалення процесів рідинного оздоблення шкіри. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 5 (277). С. 126–133. DOI 10.31891/2307-5732-2019-277-5-126-133.
12. Первая Н. В., Андреева О. А. Фізико-хімічні та ІЧ-спектроскопічні дослідження нових жирувальних препаратів. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2019. № 6 (140). С. 81–94. DOI: 10.30857/1813-6796.2019.6.8. URL: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/14940/1/V140_P081-094.pdf.
13. Ніконова А. В., Андреева О. А. Ресурсоощадна технологія виробництва одягових шкір: монографія. За заг. ред. О. А. Андреевої. Київ: КНУТД, 2023. 172 с.
14. Заєць А., Андреева О. Традиційні підходи і новітні розробки в області рідинного оздоблення натуральної шкіри. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2023. № 4 (323). С. 131–138. DOI: 10.31891/2307-5732-2023-323-4-131-137.
15. Заєць А. В., Андреева О. А. Дослідження сучасних модифікованих жирувальних матеріалів. *Освіта для сталого майбутнього: екологічні, технологічні, економічні і соціокультурні питання: колективна монографія за матеріалами Всеукраїнської наукової конференції*. К.: КНУТД, 2023. С. 282–286.
16. Заєць А. В., Андреева О. А. Дослідження стійкості емульсій модифікованих жирувальних матеріалів. *Progressive research in the modern world: Proceedings of the 4th International scientific and practical conference*, 28–30 December 2022, Boston: BoScience Publisher, 2022. P. 212–219. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/>

- [IN-THE-MODERN-WORLD-28-30.12.22.pdf](#) [in Ukrainian].
17. Zaiets, A., Andreyeva, O. (2023). Influence of temperature behavior on the properties of emulsions of modified fatliquoring materials. *IJCELIT 2023. Book of abstracts of the 9th international joint conference on environmental and light industry technologies* (10.11.2023). Budapest: Óbuda University, 2023. P. 26.
18. van Kempen, T. A., McComas, S. (2002). Infrared Spectroscopy as a Tool for Assessing Fat Quality. *Journal of Applied Poultry Research*, Vol. 11, Iss. 2, P. 191–201, DOI: 10.1093/japr/11.2.191.
19. Nkwor, A. N., Ukooha, P. O. (2020). Evaluation of the leather fatliquoring potential of sulphonated *Azzeria africana* aril cap oil. *Helion*. 2020. No 6. P. 1–11. URL: https://www.researchgate.net/publication/338327374_Evaluation_of_the_leather_fatliquoring_potential_of_sulphonated_Azzeria_africana_aril_cap_oil.
20. Kamm, W., Dionisi, F., Hischenhuber, C. Engel, K. H. (2001). Authenticity of fats and oils. *Food Reviews International*, No. 17, P. 249–290, DOI: 10.1081/ПТ-100104702.
21. Levchuk, I. V., Kishchenko, V. A., Tymchenko, V. K., Kunytsia, K. V. (2015). Suchasni metody identyfikatsii olii ta zhyriv u tekhnokhimkontroli zhyropererobnoho vyrobnytstva [Modern methods of identification of oils and fats in technochemical control of fat processing production]. *Visnyk NTU "KhPI". Seriya: Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh = Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies*, № 14 (1123), P. 71–77. URL: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/42486> [in Ukrainian].
22. El-Shahat H. A. Nashy, Ghada A. Abo-ELwafa, Saadia M. Aly, Ragab A. Masoud, Hamed Elsayed (2023). Non-ionic Fatliquoring and Lubricating Agents Based on Ethoxylated Jojoba Fatty Acids. *Waste and Biomass Valorization*, July 2023, P. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02227-z>.
23. Kozyb, C. M., Kozyb, P. A., Pydchenko, C. O., Tishakova, T. C. (2017). Stvorennia biblioteki infrachervonykh spektriv pryrodnykh zhyriv [Creating a library of infrared spectra of natural fats]. *Aktualni problemy suchasnoi khimii: zbirnyk materialiv Vseukrainskoi naukovopraktychnoi konferentsii studentiv, aspirantiv ta molodykh uchennykh = Actual problems of modern chemistry: a collection of materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists* (20–22.04.2017). Mykolaiv, Natsionalnyi universytet korablebuduvannia, P. 44–45. URL: <https://repo.knmu.edu.ua/bitstream/2022/12/PROGRESSIVE-RESEARCH-IN-THE-MODERN-WORLD-28-30.12.22.pdf>.
17. Zaiets A., Andreyeva O. Influence of temperature behavior on the properties of emulsions of modified fatliquoring materials. *IJCELIT 2023. Book of abstracts of the 9th international joint conference on environmental and light industry technologies* (10.11.2023). Budapest: Óbuda University, 2023. P. 26.
18. van Kempen T. A., McComas S. Infrared Spectroscopy as a Tool for Assessing Fat Quality. *Journal of Applied Poultry Research*. 2002. Vol. 11, Iss. 2. P. 191–201. DOI: 10.1093/japr/11.2.191.
19. Nkwor A. N., Ukooha P. O. Evaluation of the leather fatliquoring potential of sulphonated *Azzeria africana* aril cap oil. *Helion*. 2020. No. 6. P. 1–11. URL: https://www.researchgate.net/publication/338327374_Evaluation_of_the_leather_fatliquoring_potential_of_sulphonated_Azzeria_africana_aril_cap_oil.
20. Kamm W., Dionisi F., Hischenhuber C., Engel K. H. Authenticity of fats and oils. *Food Reviews International*. 2001. 17. P. 249–290. DOI: 10.1081/ПТ-100104702.
21. Левчук І. В., Кіщенко В. А., Тимченко В. К., Куниця К. В. Сучасні методи ідентифікації олій та жирів у технохімконтролі жиропереробного виробництва. *Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2015. № 14 (1123). С. 71–77. URL: <http://vestnik2079-5459.khpi.edu.ua/article/view/42486>.
22. EL-Shahat H. A. Nashy, Ghada A. Abo-ELwafa, Saadia M. Aly, Ragab A. Masoud, Hamed Elsayed. Non-ionic Fatliquoring and Lubricating Agents Based on Ethoxylated Jojoba Fatty Acids. *Waste and Biomass Valorization*. 2023. July. P. 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12649-023-02227-z>.
23. Козуб С. М., Козуб П. А., Рудченко С. О., Тішакова Т. С. Створення бібліотеки інфрачервоних спектрів природних жирів. *Актуальні проблеми сучасної хімії: збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих учених* (20–22.04.2017). Миколаїв: Національний університет кораблебудування, 2017. С. 44–45. URL: <https://repo.knmu.edu.ua/bitstream/123456789/16460/1/%D0%A2%D0>

- [123456789/16460/1/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8.%D0%A5%D1%96%D0%BC%D1%96%D1%8F.2017-44-45.pdf](http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/hiop/metod/127_SMIXS_Lab.pdf) [in Ukrainian].
24. Lastukhin, Yu. O., Donchak, V. A., Kohut, A. M. (2021). *Orhanichna khimiia: pidruchnyk* [Organic chemistry: textbook]. Lviv: Lvivska politehnika. 488 p. [in Ukrainian].
25. Suchasni metody identyfikatsii khimichnykh spoluk: metodychni rekomendatsii do samostiinoi roboty ta laboratornykh robit dlia studentiv spetsialnosti "Khimiiia" [Modern methods of identification of chemical compounds: methodological recommendations for independent work and laboratory work for students majoring in "Chemistry"]. Compiled by H. L. Yusin. Kramatorsk: DDMA, 2020. 102 p. URL: http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/hiop/metod/127_SMIXS_Lab.pdf [in Ukrainian].
26. Chumak, O. P., Berezka, T. O., Molchenko, S. M. (2019). Shchodo otrymannia letsytynu z fosfatydiv soniashnykovoii olii [Regarding the production of lecithin from phosphatides of sunflower oil]. *Visnyk Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu "KhPI". Serii: Innovatsiini doslidzhennia u naukovykh robotakh studentiv = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: Innovative studies in scientific works of students*, № 15 (1340), P. 14–19 [in Ukrainian].
27. Chitra Kalyanaraman, K. Sri Bala Kameswari, V. Sudharsan Varma, R. Priyadharsini and J. Raghava Rao (2012). Biodegradation of lecithin-based fatliqour: optimization of food to microbe's ratio and residence time. *Journal of the American Leather Chemists Association*, Vol. 108, No. 1, P. 1–10. URL: https://www.researchgate.net/publication/233962457_Biodegradation_of_Lecithin_based_Fat_Liqour_Optimization_of_Food_to_Microbes_ratio_and_Residence_time.
28. Andriiko, L. S., Malysheva, M. L., Zarko, V. I., Hunko, V. M. (2011). Vzaiemodiia letsytynu z poverkhnei vysokodispersnykh oksydiv [Interaction of lecithin with the surface of highly dispersed oxides]. *Poverkhnia = Surface*, Vol. 3 (18), P. 333–342. URL: <https://www.surfacezbir.com.ua/index.php/surface/article/view/461/460> [in Ukrainian].
29. Teslia, O. P., Mokrousova, O. R., Kovtunenکو, O. V., Bekharskyi, V. Y. (2009). ICh-spektroskopichni doslidzhennia vzaiemodii kompozytsii ekonat z kolahenom khromovanoi dermy [IR-spectroscopic studies of the interaction of the Econate composition with the collagen of the chromic dermis]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu tekhnolohii ta dizainu. Serii: Tekhnichni nauky = Bulletin of the Kyiv National University of Technology and Design. Series: Technical sciences*, № 6, P. 95–99 [in Ukrainian]. URL: https://er.knuid.edu.ua/bitstream/123456789/6609/1/V50_P095-099.pdf.
24. Ластухін Ю. О., Дончак В. А., Когут А. М. Органічна хімія: підручник. Львів: Львівська політехніка, 2021. 488 с.
25. Сучасні методи ідентифікації хімічних сполук: методичні рекомендації до самостійної роботи та лабораторних робіт для студентів спеціальності "Хімія". Укл.: Г. Л. Юсіна. Краматорськ: ДДМА, 2020. 102 с. URL: http://www.dgma.donetsk.ua/docs/kafedry/hiop/metod/127_SMIXS_Lab.pdf.
26. Чумак О. П., Березка Т. О., Мольченко С. М. Щодо отримання лецитину з фосфатидів соняшникової олії. *Вісник Національного Технічного Університету "ХПІ". Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. 2019. № 15 (1340). С. 14–19.
27. Chitra Kalyanaraman, K. Sri Bala Kameswari, V. Sudharsan Varma, R. Priyadharsini and J. Raghava Rao. Biodegradation of lecithin-based fatliqour: optimization of food to microbe's ratio and residence time. *Journal of the American Leather Chemists Association*. 2012. Vol. 108, No. 1. P. 1–10. URL: https://www.researchgate.net/publication/233962457_Biodegradation_of_Lecithin_based_Fat_Liqour_Optimization_of_Food_to_Microbes_ratio_and_Residence_time.
28. Андрійко Л. С., Малишева М. Л., Зарко В. І., Гунько В. М. Взаємодія лецитину з поверхнею вискодисперсних оксидів. *Поверхня*. 2011. Вип. 3 (18). С. 333–342. URL: <https://www.surfacezbir.com.ua/index.php/surface/article/view/461/460>.
29. Тесля О. П., Мокроусова О. Р., Ковтуненко О. В., Бехарський В. Й. ІЧ-спектроскопічні дослідження взаємодії композиції Еконат з колагеном хромованої дерми. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки*. 2009. № 6. С. 95–99. URL: https://er.knuid.edu.ua/bitstream/123456789/6609/1/V50_P095-099.pdf.

ZAIETS ANTONINA

Postgraduate, Department of Biotechnology,
Leather and Fur, Kyiv National University
of Technologies and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0006-9977-6109>
E-mail: zaiets.antonina888@gmail.com

ANDREYEVA OLGA

Doctor of Technical Sciences, Professor,
Department of Biotechnology, Leather and Fur,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-8374-2306>
Scopus Author ID: 57189216288
E-mail: wayfarer14@uhr.net

ZAIETS A. V., ANDREYEVA O. A.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

SPECTROSCOPIC STUDIES OF THE CHEMICAL NATURE AND INTERACTION WITH COLLAGEN OF MODIFIED FATLIQUOR MATERIALS

The purpose of the researches is to analyze the chemical nature of new commercial modified fatliquor materials obtained on the basis of sulfonated, sulfated, oxidized natural and synthetic fats, as well as to determine the features of interaction in the "collagen-fatliquor material" system, which will make it possible to predict the behavior of these materials during liquid finishing of leather.

Methodology. To achieve this goal, spectral analysis and interpretation of the spectra of modified fatliquor materials were used. As the latter, new products from Smit & Zoon (Netherlands) were studied: Sulphirool EG 60 – sulfited natural and synthetic fats; Synthol LC – natural and synthetic fats, sulfated triglycerides, lecithin-containing mixture; Sulphirool C – oxidized sulfited fats based on marine fish fats. The chemical nature of the analyzed fats and their interaction with gelatin as a collagen model was studied using infrared spectroscopy. The researches were carried out on an infrared spectrometer (FTIR), designed to obtain infrared transmission or reflection spectra of the objects under study.

Findings. It has been experimentally established that, due to the presence of various functional groups and bonds, new modified fatliquor materials have a multifunctional nature and can interact with gelatin to form new (hydrogen, electrovalent, covalent, etc.) bonds in its structure. Based on a study of the relative optical density of chrome-plated gelatin films before and after treatment with modified fatliquor materials, it was revealed that sulfur- and phosphorus-containing groups of fats and nitrogen-containing (amine, imine, amide) groups of gelatin take the greatest part in this interaction, its oxygen-containing groups (hydroxyl and carbonyl) are less active) groups. Sulphirool EG 60 sulfited fat and sulfated lecithin-containing Synthol LC exhibit greater activity in interaction with gelatin among the studied fatliquor materials than Sulphirool C fatliquor material synthesized on the basis of oxidized and sulfited marine fish fats. The revealed ability of modified fatliquor materials to interact with gelatin, and therefore with collagen, will contribute to the prevention of their redistribution in the dermis or their removal from it, which will have a positive effect on the stability of the structure and properties of skin and leather products.

Originality. The scientific novelty consists in determining the chemical nature of new modified fatliquor materials of various origins, intended for skin treatment, as well as the nature of their interaction with gelatin – a model of collagen, which is the main component of the dermis of the animal skin and natural leather, which is made from it. This will make it possible to explain the peculiarities of transformations in the "collagen-fatliquor material" system during liquid finishing, their influence on the formation of the structure and properties of the leather.

Practical value. The results of the work will contribute to the expansion of the assortment and justified use of chemical reagents of the new generation in innovative technologies for the production of leather of the modern assortment.

Keywords: leather production; modified fatliquor materials; chemical nature; collagen; gelatin; IR spectroscopy.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.10>

УДК 628.
315/54-4

КИСЛОВА О. В., ПАТЛУН Д. В.

Київський національний університет технологій та дизайну, Україна

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ НЕОРГАНІЧНИХ СПОЛУК ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Мета. Аналіз сучасних хімічних технологій очищення концентрованих стоків та промивних вод гальванічних виробництв; узагальнення особливостей використання неорганічних речовин для знешкодження стічних вод.

Методика. Аналітичний огляд наукової та науково-практичної літератури для систематизації методів застосування неорганічних сполук різних класів для очищення ціано- та хромовмісних стоків гальванічних виробництв, осадження йонів важких металів, нейтралізації рН стічних вод.

Результати. Для знешкодження концентрованих стоків та промивних вод гальванічних виробництв широко використовуються мінеральні кислоти та луки для нейтралізації, окисники (рідкий хлор, хлорне вапно, гіпохлорит кальцію або натрію, озон, калій перманганат, гідроген пероксид), відновники (сульфіт, гідрогенсульфіт, тіосульфат натрію, ферум сульфат), а також гідроксиди, карбонати, сульфідні для осадження йонів важких металів. Перевагами реагентного методу є універсальність, простота експлуатації, застосування недорогого обладнання, широкий інтервал початкових концентрацій іонів, можливість сумісного очищення стічних вод різних гальванічних процесів після попереднього знешкодження токсичних ціано- та хромовмісних стоків. Нагальним завданням є вдосконалення реагентних методів з метою зниження витрат хімічних сполук, підвищення повноти вилучення іонів металів та інших шкідливих речовин, спрощення їх подальшого виділення зі шламу для повної утилізації.

Наукова новизна. Обґрунтовано оптимальні умови застосування неорганічних сполук для знешкодження стічних вод гальванічних виробництв, які передбачають необхідність враховувати характеристики стоків конкретного гальванічного виробництва, такі як концентрації забруднюючих речовин, рН, наявність додаткових сполук у складі електролітів та інші фактори.

Практична значимість. Узагальнено напрямки очищення стічних вод гальванічних виробництв реагентним методом, охарактеризовано основні неорганічні сполуки, які застосовуються для знешкодження концентрованих стоків і промивних вод гальванічних виробництв, оптимальні умови їх використання.

Ключові слова: неорганічні речовини; гальванічне виробництво; стічні води; реагентний метод очищення.

Вступ. Гальванічне виробництво застосовується для нанесення різноманітних металевих покриттів, таких як хром, нікель, мідь, цинк, кадмій та олово, з метою покращення фізичних та хімічних властивостей виробів. Цей процес спрямований на збільшення стійкості виробів до корозії та покращення їх зовнішнього вигляду. Проте гальванічне виробництво є одним з найбільш екологічно шкідливих. Джерелами забруднення навколишнього середовища в гальванотехніці є відпрацьовані концентровані розчини електролітів, розчини знежирення та травлення, пасивування, анодування, електролітичного полірування та промивні води різних технологічних операцій. Зі стічними водами у навколишнє середовище потрапляє значна кількість сполук кольорових металів, органічні та неорганічні речовини, розчини мінеральних кислот та лугів [1, 2].

Відомо, що токсична дія іонів важких металів при накопиченні в організмі людини призводить до виникнення гострих і хронічних запальних процесів; модифікації метаболізму біологічно активних речовин, ліпідів, білків, ДНК, РНК; посилення перекисного окиснення ліпідів; змін енергетичного обміну. Надлишок йонів важких металів в організмі порушує функції серцево-судинної та нервової систем, роботу шлунково-кишкового тракту та

центральної нервової системи, призводить до розладів слуху, зору, підвищує ризик онкозахворювань [3, 4].

Очищення стічних вод можна здійснювати з застосуванням хімічних та фізико-хімічних методів. Найбільш поширеними є наступні хімічні методи очищення: реагентні методи виділення забруднюючих речовин у вигляді малорозчинних та нерозчинних сполук, нейтралізація, окиснення та відновлення. Хімічна обробка здійснюється у системах локального очищення виробничих стічних вод, перед їх подачею в систему оборотного водопостачання або спуском у водоймище чи міську каналізаційну мережу. Також хімічний метод застосовується для попереднього очищення стічних вод перед використанням біологічних або фізико-хімічних методів [5–7].

Постановка завдання. Провести аналіз сучасних хімічних технологій очищення концентрованих стоків та промивних вод гальванічних виробництв; систематизувати дані щодо ефективності та умов застосування різних неорганічних речовин для знешкодження стічних вод гальванічного виробництва.

Результати дослідження. Стоки гальванічного виробництва містять концентровані розчини солей, лугів, кислот та промивні води з різними показниками рН. Залежно від рН середовища нанесення електрохімічного покриття стічні води можна розділити на кислі та лужні. Окремо потрібно виділити стічні води, які містять токсичні ціано- та хромовмісні сполуки, оскільки вони потребують застосування спеціальних методів обробки [8, 9]. Загальна характеристика стічних вод гальванічного виробництва наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Загальна характеристика стічних вод гальванічного виробництва

Стічні води	Ціаністі (рН = 8-11)	Хромовмісні (рН = 4-5)	Кислі (рН = 1-3)	Лужні (рН = 9-11)
1	2	3	4	5
Процеси	цинкування, міднення, сріблення, кадміювання, освітлення мідних деталей після зняття нікелевого, хромового покриття	хромування, травлення, пасивування, анодування, електролітичне полірування сталевих виробів	знежирення, травлення, міднення, цинкування, нікелювання	цинкування, міднення, кадміювання, олов'янування
Концентровані стоки	Комплексні ціаніди важких металів (особливо цинку) схильні до утворення нерозчинних сполук на стінках труб та резервуарів при зниженні рН до 8–9. Через утворення токсичної синильної кислоти ціаністий стік не можна змішувати з кислим стоком	Стоки можуть містити до 300 г/л хром(VI) ангідриду. Він дуже леткий, особливо при підвищеній температурі	Відпрацьовані на 50–80% розчини з вмістом вільної кислоти 20–50% по відношенню до вихідного. Розчини декапірування скидаються у концентраціях майже рівних вихідним. Можуть містити до 20 г/л суспензії забруднюючих речовин	Утворюються при зміні концентрованих знежирювальних розчинів і можуть містити сполуки в наступних діапазонах концентрацій: NaOH – 20–30 г/л, Na ₂ CO ₃ – 10–30 г/л, Na ₃ PO ₄ – 20–30 г/л, Na ₂ SiO ₃ – 1–2 г/л

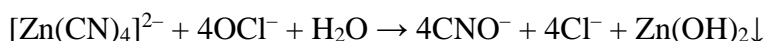
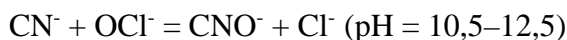
Продовження табл. 1

1	2	3	4	5
Промивні води	після нанесення гальванопокриттів із ціаністих ванн містять 50–100 мг/л комплексних ціанідів важких металів. Схильні до утворення нерозчинних сполук при pH = 8–9	після хромування та травлення містять 10–100 мг/л Cr(VI) та 1–15 мг/л інших металів. Має корозійну активність, пасивує сталь, посилено діє на місця зварювання, що містять сторонні включення	після операцій декапірування та травлення містять переважно хлоридну, сульфатну, рідше нітратну та фосфатну кислоти, солі феруму та інших металів, що підлягають травленню. Мають високу корозійну активність	після операцій нанесення гальванопокриттів в лужному середовищі, а також знежирення (містять 50–150 мг/л олій та нафтопродуктів)

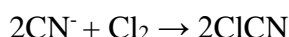
Отже, стічні води гальванічних виробництв можуть містити токсичні ціаніди та сполуки Cr(VI), солі важких металів, поверхнево-активні речовини та емульговані жири. Очищення стічних вод полягає в першу чергу у знешкодженні ціанідів та сполук Cr(VI), подальшій частковій взаємній нейтралізації всіх видів стічних вод, а також у застосуванні кислот (хлоридна або сульфатна) або лугів (вапняне молоко) для повної нейтралізації. Наявність ПАР та масляно-жирових забруднень знижує загальну якість очищення стічних вод, тому жири видаляють зі стоків фільтруванням [6, 7].

Для знешкодження стічних вод, що містять ціанід-іони, їх окиснюють сполуками, що містять активний хлор (рідкий хлор, хлорне вапно, гіпохлорит кальцію або натрію), озоном, калій перманганатом, пероксидом гідрогену [8].

Окиснення ціанідів до ціанатів у присутності гіпохлориту протікає за рівнянням:



Як проміжний продукт утворюється токсичний газ хлорціан:



Для усунення цього процесу необхідно постійно нейтралізувати розчином лугу хлоридну кислоту, яка виділяється як побічний продукт реакції.

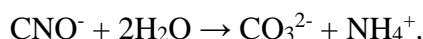
Швидкість окиснення ціанідів залежить від температури та значно зменшується при її зниженні. Також потрібно контролювати концентрацію хлоровмісних окисників, оскільки збільшення залишкової кількості активного хлору підвищує утворення побічних токсичних продуктів. Встановлено оптимальні умови проведення реакції, які мінімізують утворення хлорціану: концентрація ціанідів в стічній воді становить 0,2–1 г/л; слабко лужне середовище з pH > 8,5; t < 50°C.

Подальша нейтралізація ціанатів може здійснюватись двома способами:

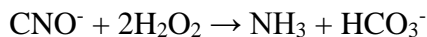
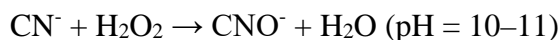
1) в лужному середовищі при pH = 7,5–8,5 ціанати окиснюються до вуглекислого газу та вільного азоту:



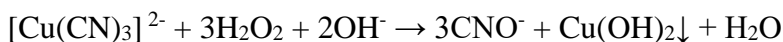
2) в кислому середовищі при pH < 3 вони гідролізують до солей амонію:



Ціаніди також можна окиснити при взаємодії з гідроген пероксидом. Застосовувати цей окисник економічно доцільно для знешкодження відносно концентрованих стоків ($[\text{CN}^-] > 1 \text{ г/л}$):

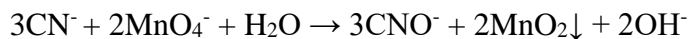


Комплексні ціаніди окиснюються гідроген пероксидом швидше і легше, ніж прості ціаніди:



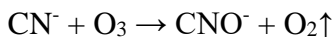
Перевагами застосування гідроген пероксиду є: самовільний розклад надлишку реагенту, відсутність утворення токсичних проміжних сполук, знешкодження ціанідів до гранично допустимих концентрацій.

У присутності калій перманганату окиснення ціанідів відбувається за реакцією:



Завдяки високому ступеню очищення від ціанідів даний метод надає можливість повторного використання очищеної води в гальванічному виробництві. Проте висока вартість калій перманганату і необхідність видалення з води осаду MnO_2 є суттєвими недоліками цього способу.

За допомогою озону можна окиснювати значні об'єми стічних вод у слабколужному середовищі (pH 9–10), якщо $[\text{CN}^-] < 100 \text{ мг/л}$:



В процесі розкладу озону утворюється атомарний кисень. Як каталізатори використовують солі купруму, феруму, ванадію. Для кількісного проведення реакції та зменшення витрати озону необхідно також постійно видаляти осади гідроксидів та карбонатів.

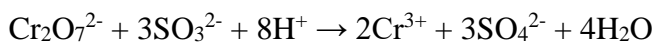
Однією з основних переваг даного методу є можливість окиснення органічних сполук, проте процес отримання озону є енергоємним, дорогим та потребує громіздкого устаткування.

Окремого очищення потребують хромовмісні стічні води, які містять високотоксичні сполуки Cr (VI) [9]. Знешкодження таких стоків відбувається у дві стадії:

- 1) відновлення високотоксичних сполук шестивалентного хрому до Cr (III);
- 2) осадження іонів Cr (III) у вигляді гідроксиду.

Для відновлення сполук Cr (VI) до Cr (III) найчастіше використовуються натрій сульфід (Na_2SO_3) або гідрогенсульфід (NaHSO_3), натрій піросульфід ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$), натрій тіосульфат ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) в кислому середовищі.

Зокрема відновлення за допомогою натрій сульфїту відбувається наступним чином:



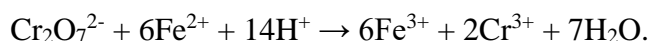
Найбільша швидкість відновлення сполук хрому солями сульфїтної кислоти спостерігається в кислому середовищі при pH = 2–2,8, що потребує додаткового підкислення стічних вод. Суттєвим недоліком також є те, що ці відновники в процесі зберігання легко окиснюються, що призводить до збільшення їх витрат.

Відновлення Cr (VI) за допомогою інших сульфурвмісних сполук – SO_2 чи H_2S – можливе на виробництвах, де ці речовини утворюються як побічні продукти. Перевагою використання сульфїдів для утилізації сполук хрому є їх подвійні властивості: сульфїд-аніони є не лише відновниками іонів Cr(VI), але вони також осаджують йони Cr (III) у вигляді важкорозчинних гідроксидів – продуктів гідролізу сульфїдів (максимальне осадження

відбувається при $\text{pH} = 11$). До недоліків цього методу слід віднести значну витрату реагентів, додаткове використання кислоти.

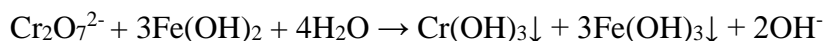
Як реагенти-відновники також можуть бути використані відходи металевого заліза – сталева стружка, шар якої використовується для фільтрування ($\text{pH} = 2\text{--}2,5$). Більш ефективним є фільтрування через колонку, заповнену сумішшю металевих Al та Fe стружок (співвідношення від 0,5:1 до 3:1), оскільки утворення гальванопар Fe /Al знижує пасивацію поверхні алюмінію хроматами. Однак при відновленні Cr (VI) залізом і його сполуками значно зростає кількість шламу через осадження ферум гідроксиду [9].

Реакція з застосуванням FeSO_4 як реагента-відновника перебігає з досить високою швидкістю не тільки в кислому, але й нейтральному і лужному середовищах. Зокрема, в кислому середовищі відбувається наступна реакція:



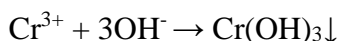
Для повного відновлення Cr (VI) до Cr (III) необхідний лише незначний надлишок реагенту (близько 5% від стехіометричної кількості). Ферум (II) сульфат також є коагулянт, що дозволяє ефективно видаляти з розчину забруднення органічного характеру, які знаходяться в колоїдному завислому стані, та отримувати менш каламутну та знебарвлену воду.

Протікання реакції відновлення Cr(VI) можливе і без попереднього підкислення у присутності суспензії Fe (II) гідроксиду:



Значним недоліком використання сульфату заліза, а також суспензії $\text{Fe}(\text{OH})_2$ як відновників у порівнянні з солями сульфитної кислоти, є збільшення об'єму осаду внаслідок утворення значної кількості нерозчинного Fe (III) гідроксиду.

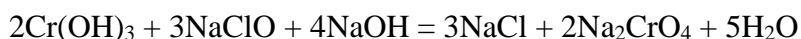
Після відновлення Cr(VI) у кислому середовищі стічні води нейтралізують для осадження іонів Cr(III) у вигляді гідроксиду [10]:



На установках безперервної дії цю стадію здійснюють після попереднього змішування стічних вод з іншими видами кислих і лужних вод гальванічного виробництва, тоді як на установках періодичної дії хромовмісні стічні води нейтралізують окремо. Для нейтралізації до $\text{pH} = 8,5\text{--}9$ застосовують переважно вапняне молоко, рідше соду або натрій гідроксид. Оскільки Cr(III) гідроксид має амфотерний характер, при підвищенні значення pH він починає розчинятись з утворенням комплексної солі:



При змішуванні знешкоджених хромо- та ціановмісних стічних вод з високою концентрацією активного хлору відбувається реакція, яка призводить до зворотного окиснення сполук хрому (III) до хрому (VI). Так, в присутності надлишку натрій гіпохлориту в лужному середовищі утворюються хромат-аніони:



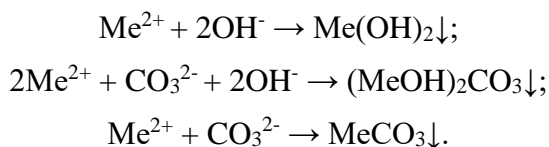
Щоб запобігти такому процесу, надлишок активного хлору з ціановмісних стоків окиснюють натрій тіосульфатом або збільшують кількість відновників в стоках.

Кінцевим етапом очищення після змішування всіх видів стоків гальванічного виробництва є осадження йонів важких металів та нейтралізація до необхідного значення pH [10, 11].

Для попереднього видалення сполук важких металів з стічних вод найбільш поширеними є реагентні методи очищення, які засновані на осадженні розчинних у воді речовин в реакціях подвійного обміну з подальшим відокремленням їх у вигляді осадів.

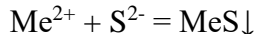
Так, очищення стічних вод від іонів важких металів здійснюється шляхом переведення їх в малорозчинні сполуки (гідроксиди, основні карбонати, сульфід) при нейтралізації стічних вод лужними реагентами (гідроксиди та карбонати кальцію, натрію, магнію; оксиди кальцію та магнію; оксидовмісні відходи, наприклад, ферохромовий шлак (суміш CaO – 51,3%; MgO – 9,2%; SiO₂ – 27,4%; Cr₂O₃ – 4,13%; Al₂O₃ – 7,2%; FeO – 0,73%); сульфід натрію). Утворені осади видаляють відстоюванням, флотацією, фільтруванням [10].

Розповсюдженим методом є нейтралізація стічних вод вапняним молоком з подальшим відстоюванням в горизонтальних відстійниках безперервної дії. При нейтралізації кислих стічних вод вапняним молоком, а також розчинами соди іони металів осаджуються у вигляді гідроксидів, основних карбонатів або карбонатів, які характеризуються нижчим значенням добутку розчинності, ніж відповідні гідроксиди [11, 12].



Швидкість осадження сполук можна контролювати за допомогою рН, температури та перемішування.

Більш ефективним реагентом для вилучення кольорових металів є натрій сульфід [10]. Відомо, що розчинність сульфідів важких металів значно нижча порівняно з розчинністю інших важкорозчинних електролітів, зокрема гідроксидів та карбонатів. Осаджувати іони важких металів у вигляді сульфідів можна за участю тіокарбонатів лужних або лужноземельних металів (наприклад, Na₂CS₃ при рН = 6–9) або суспензії FeS₂ з масовою часткою 1–2% [10, 13].



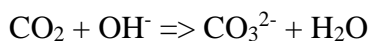
Оскільки гідроксиди та сульфід важких металів утворюють стійкі колоїдні системи, для повного їх осадження вводять коагулянти. Колоїдні частинки мають негативний заряд, тому як коагулянти використовують електроліти з багатозарядними катіонами (переважно алюміній сульфат, залізний купорос, ферум (III) хлорид або їх суміші). Також можна використовувати глини, алюмінієві відходи виробництва, суміші з кремній (IV) оксидом.

Для прискорення процесу коагуляції застосовують різні флокулянти, найбільшого розповсюдження серед яких набули поліакриламід та активована силікатна кислота. Так, введення в розчин поліакриламідів збільшує швидкість осадження сульфідів та гідроксидів металів у 2–3 рази [2].

Осадження іонів важких металів можна здійснити при обробці фосфатною кислотою або її солями. Утворені фосфати переважно характеризуються меншим значенням добутку розчинності, ніж відповідні гідроксиди. Процес осадження іонів металів має наступні стадії:

- 1) додавання до водного розчину важкого металу фосфорної кислоти або її кислій солі у співвідношенні 1:1;
- 2) коригування рН розчину сульфатною кислотою (рН = 3);
- 3) додавання коагулянту (FeCl₃ у концентрації 0,75–1,5 г/л);
- 4) осадження фосфатів металів у лужному середовищі при додаванні кальцій гідроксиду (рН = 8,5).

Для нейтралізації лужних стічних вод можна використовувати вуглекислий газ, джерелом якого є димові гази [14]:



Перевагами реагентного методу очищення стічних вод є: універсальність, простота експлуатації, можливість одночасної обробки промивних вод і концентрованих розчинів, широкий інтервал початкових концентрацій іонів.

До недоліків методу можна віднести значну витрату реагентів та додаткове забруднення ними стічних вод, неповне вилучення іонів металів, потреба в місцях зберігання утворених осадів, неможливість повернення очищеної води в оборотний цикл через наявність залишкових концентрацій металів, необхідність використання додаткових фізико – хімічних (іонообмінні, електрохімічні, адсорбційні, мембранні, зворотний осмос) та біологічних методів вилучення важких металів зі шламу для подальшої утилізації [15].

Утилізація шламів, що утворюються при очищенні стічних вод, може проводитися шляхом застосування їх як добавки до цементу, асфальту, скла і пластмас, а також при переробці в фарби, вогнетривкі матеріали та штучні наповнювачі. Добавки гальванічних відходів до складу будівельних матеріалів поліпшують їх експлуатаційно-технічні характеристики [16].

Висновок. Очищення стічних вод гальванічного виробництва об'єднує комплекс хімічних, фізико-хімічних та біологічних методів, вибір яких визначається технологічними вимогами, наявністю матеріальних та енергетичних ресурсів, економічними чинниками процесу. Універсальні хімічні методи з застосуванням неорганічних сполук, які включають окиснення та відновлення забруднюючих речовин, їх осадження у вигляді важкорозчинних сполук, нейтралізацію стоків, дають можливість значно знизити вміст шкідливих речовин, в деяких випадках до гранично допустимих концентрацій. Дотримання оптимальних умов (значення рН, температура, концентрації реагентів) для проведення хімічних перетворень, застосування ефективних коагулянтів та флокулянтів сприяє зниженню витрат хімічних сполук, підвищенню повноти вилучення іонів металів та інших шкідливих речовин, спрощує їх подальше виділення зі шламу для повної утилізації. Реагентний метод обробки стічних вод підвищує ефективність подальшого застосування фізико-хімічних та біологічних методів для знешкодження стоків гальванічних виробництв та є основою створення безвідходних технологій.

References

1. Rajoria, S., Vashishtha, M., Sangal, V. K. (2022). Treatment of electroplating industry wastewater: A review on the various techniques. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, Vol. 29, P. 72196–72246. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18643-y>.
2. Makisha, N., Yunchina, M. (2017). Methods and solutions for galvanic waste water treatment. *MATEC Web Conf.*, 106:07016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607016>.
3. Mitra, S., Chakraborty, A., Tareq, A., Emran, T. (2022). Impact of Heavy Metals on the Environment and Human Health: Novel Therapeutic Insights to Counter the Toxicity. *J. King Saud Univ.-Sci.*, Vol. 34, 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>.
4. Tchounwou, P., Yedjou, C., Patlolla, A., Sutton, D. (2012). Heavy Metals Toxicity and the Environment. *Exp. Suppl.*, Vol. 101, P. 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6.
5. Fu, F., Wang, Q. (2011). Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *J. of Environ.*

Література

1. Rajoria S., Vashishtha M., Sangal V. K. Treatment of electroplating industry wastewater: A review on the various techniques. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022. Vol. 29. P. 72196–72246. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18643-y>.
2. Makisha N., Yunchina M. Methods and solutions for galvanic waste water treatment. *MATEC Web Conf.* 2017. 106:07016. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201710607016>.
3. Mitra S., Chakraborty A., Tareq A., Emran T. Impact of Heavy Metals on the Environment and Human Health: Novel Therapeutic Insights to Counter the Toxicity. *J. King Saud Univ.-Sci.* 2022. Vol. 34. 101865. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2022.101865>.
4. Tchounwou P., Yedjou C., Patlolla A., Sutton D. Heavy Metals Toxicity and the Environment. *Exp. Suppl.* 2012. Vol. 101. P. 133–164. https://doi.org/10.1007/978-3-7643-8340-4_6.
5. Fu F., Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review. *J. of Environ. Manag.* 2011.

- Manag., Vol. 92, Issue 3, P. 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>.
6. Qin, J. J., Wai, M. N., Oo, M. H., Wong, F. S. (2002). A feasibility study on the treatment and recycling of a wastewater from metal plating. *J. Membr. Sci.*, Vol. 208, P. 213–221. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(02\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(02)00263-6).
7. Qasem, N., Mohammed, R., Lawal, D. (2021). Removal of heavy metal ions from wastewater: A comprehensive and critical review. *Clean Water.*, Vol. 4:36, P. 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>.
8. Jaszczak, E., Polkowska, Z., Narkowicz, S., Namieśnik, J. (2017). Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, P. 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9081-7>.
9. Barrera-Díaz, C., Lugo-Lugo, V., Bilyeu, B. (2012). A review of chemical, electrochemical and biological methods for aqueous Cr(VI) reduction. *J. of Hazardous Materials.*, Vol. 223–224, P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.054>.
10. Chen, Q., Yao, Y., Li, X., Lu, J., Zhou, J., Huang, Z. (2018). Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates. *Journal of Water Process Engineering*, Vol. 26, P. 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.003>.
11. Balladares, E., Jerez, O., Parada, F., Baltierra, L., Hernández, C., Araneda, E., Parra, V. (2018). Neutralization and co-precipitation of heavy metals by lime addition to effluent from acid plant in a copper smelter. *Minerals Engineering*, Vol. 122, P. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.028>.
12. Tsai, T., Chou, H., Wu, Y. (2020). Removal of nickel from chemical plating waste solution through precipitation and production of micro-sized nickel hydroxide particles. *Separation and Purification Technology*, Vol. 251, 117315. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117315>.
13. Thomas, M., Kozik, V., Bak, A., Barbusin'ski, K., Jazowiecka-Rakus, J., Jampilek, J. (2021). Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: An Application of Sodium Trithiocarbonate and Wastewater Toxicity Assessment. *Materials*, 14(3), 655, P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma14030655>.
14. Chen, Q., Luo, Z., Hills, C., Xue, G., Tyrer, M. (2009). Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. *Water Research*, Vol. 43 (10), P. 2605–2614. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.007>.
15. Ghodke, S., Maheshwari, U., Gupta, S., Bhanvase, B. (2023). 7 – Treatment of hazardous industrial solid wastes. Vol. 92, Issue 3, P. 407–418. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.11.011>.
6. Qin J. J., Wai M. N., Oo M. H., Wong F. S. A feasibility study on the treatment and recycling of a wastewater from metal plating. *J. Membr. Sci.* 2002. Vol. 208. P. 213–221. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(02\)00263-6](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(02)00263-6).
7. Qasem N. A. A., Mohammed R. H., Lawal D. U. Removal of heavy metal ions from wastewater: A comprehensive and critical review. *Clean Water.* 2021. Vol. 4:36. P. 1–15. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>.
8. Jaszczak E., Polkowska Z., Narkowicz S., Namieśnik J. Cyanides in the environment—analysis—problems and challenges. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2017. P. 1–20. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9081-7>.
9. Barrera-Díaz C., Lugo-Lugo V., Bilyeu B. A review of chemical, electrochemical and biological methods for aqueous Cr(VI) reduction. *J. of Hazardous Materials.* 2012. Vol. 223–224. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.054>.
10. Chen Q., Yao Y., Li X., Lu J., Zhou J., Huang Z. Comparison of heavy metal removals from aqueous solutions by chemical precipitation and characteristics of precipitates. *Journal of Water Process Engineering.* 2018. Vol. 26. P. 289–300. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2018.11.003>.
11. Balladares E., Jerez O., Parada F., Baltierra L., Hernández C., Araneda E., Parra V. Neutralization and co-precipitation of heavy metals by lime addition to effluent from acid plant in a copper smelter. *Minerals Engineering.* 2018. Vol. 122. P. 122–129. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2018.03.028>.
12. Tsai T., Chou H., Wu Y. Removal of nickel from chemical plating waste solution through precipitation and production of micro-sized nickel hydroxide particles. *Separation and Purification Technology.* 2020. Vol. 251. 117315. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117315>.
13. Thomas M., Kozik V., Bak A., Barbusin'ski K., Jazowiecka-Rakus J., Jampilek J. Removal of Heavy Metal Ions from Wastewaters: An Application of Sodium Trithiocarbonate and Wastewater Toxicity Assessment. *Materials.* 2021. 14(3). 655. P. 1–17. <https://doi.org/10.3390/ma14030655>.
14. Chen Q., Luo Z., Hills C., Xue G., Tyrer M. Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. *Water Research.* 2009. Vol. 43 (10). P. 2605–2614. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.03.007>.
15. Ghodke S., Maheshwari U., Gupta S., Bhanvase B. 7 – Treatment of hazardous industrial solid wastes

industrial solid wastes from electroplating industry: a comprehensive review. *360-Degree Waste Management*, Vol. 2, P. 141–167. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90909-9.00002-2>.

16. Wang, H., Liu, X., Zhang, Z. (2024). Approaches for electroplating sludge treatment and disposal technology: Reduction, pretreatment and reuse: Review. *J. Environ. Manag.*, Vol. 349, P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119535>.

from electroplating industry: a comprehensive review. *360-Degree Waste Management*. 2023. Vol. 2. P. 141–167. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90909-9.00002-2>.

16. Wang H., Liu X., Zhang Z. Approaches for electroplating sludge treatment and disposal technology: Reduction, pretreatment and reuse: Review. *J. Environ. Manag.* 2024. Vol. 349. P. 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119535>.

KYSLOVA OLHA

*Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
Department of Chemical Technologies and Resource
Saving, Kyiv National University of Technologies and
Design, Ukraine*

<http://orcid.org/0000-0002-0223-1860>

Scopus Author ID: 22034723000

E-mail: kislova.ov@knutd.com.ua

PATLUN DMYTRO

*Postgraduate student,
Department of Chemical Technologies
and Resource Saving,
Kyiv National University of Technologies
and Design, Ukraine*

<https://orcid.org/0000-0003-3832-1996>

E-mail: dimapatlun@gmail.com

KYSLOVA O. V., PATLUN D. V.

Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine

**PERSPECTIVES OF INORGANIC COMPOUNDS APPLICATION FOR
ELECTROPLATING INDUSTRY WASTEWATER TREATMENT**

Purpose. Analysis of modern chemical technologies for electroplating industry concentrated effluents and washing wastewaters treatment; generalization of the peculiarities of inorganic substances using for the wastewater purification.

Methodology. Analytical review of scientific and scientific-practical literature for the systematization of inorganic compounds application for galvanic industries cyano- and chromium-containing wastewaters treatment, precipitation of heavy metal ions, neutralization of pH wastewaters.

Findings. Mineral acids and alkalis for neutralization, oxidizers (liquid chlorine, chlorinated lime, calcium or sodium hypochlorite, ozone, potassium permanganate, hydrogen peroxide), reducing agents (sodium sulfite, sodium hydrogen sulfite, sodium thiosulfate, iron (II) sulfate), as well as hydroxides, carbonates, sulfides for precipitation of heavy metal ions are widely used for electroplating industry wastewaters decontamination. The advantages of the reagent method include universality, ease of operation, use of inexpensive equipment, a wide range of initial ion concentrations, the possibility of joint treatment of wastewaters from various galvanic processes after toxic cyano- and chromium-containing wastewaters purification. The main task is to improve reagent wastewaters treatment methods with the aim of reducing of chemical compounds using, increasing the completeness of metal ions and other harmful substances extraction, simplifying their subsequent separation from sludge for complete utilization.

Originality. The optimal conditions for the inorganic compounds application for the electroplating industry wastewaters treatment are substantiated, implying the need to take into account the characteristics of the specific galvanic production effluents, such as the concentration of pollutants, pH values, the presence of additional compounds in the electrolytes composition and other factors.

Practical value. The directions of electroplating industry wastewater treatment by the reagent methods are summarized, the main inorganic compounds used for the concentrated effluents and washing waters treatment and the optimal conditions for their use are characterized.

Keywords: inorganic substances; electroplating industry; wastewaters; reagent method.

<https://doi.org/10.30857/2786-5371.2024.1.11>

УДК 667.6;
678:620.168.3

YONG Z., BAKLAN D. V., MYRONYUK O. V.
Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine

CORROSION RESISTANCE OF POLYMER-SILICA-CALCITE TEXTURED SURFACES

Purpose. Determine the relationship between the corrosion resistance properties of the additive coatings and the fractional composition of the components that form the texture.

Methodology. In this work, an additive bifractional texture was created on the basis of a styrene-butyl acrylate copolymer as a binder and hydrophobized silica nanoparticles and hydrophobized calcium carbonate microparticles as texture-forming fillers. The coatings were applied to the substrate by pneumatic means. To assess the corrosion resistance, the samples were immersed in distilled water and salt solution. To assess the change in properties, the angle of wetting with water (the sitting drop method) was used, and scanning electron microscopy was used to observe structural changes on the surface. Electrochemical impedance spectroscopy and potentiodynamic polarization curves were used to evaluate the corrosion potential.

Findings. The results show that the obtained coatings are not completely resistant to prolonged exposure to water. The main defects are cracking and an increase in surface polarity. This leads to a drop in the angle of wetting with water. An additional deterioration in the water-repellent properties is due to a decrease in the adhesion of the polymer to the filler. According to the studies of self-corrosion potential, the sample with the largest amount of micro-sized filler and the lowest polymer content was the most stable. For this sample, no loss of hydrophobic properties was observed after prolonged immersion in a corrosive environment, although cracks formed on the surface.

Originality. For the first time, significant changes in corrosion resistance have been shown to be possible for additive coatings obtained by pneumatic spraying with a hierarchical surface structure, depending on the fractional ratio of micro- and nanosized particles that form the texture.

Practical value. The composition of an additive coating based on a styrene-acrylic polymer and structure-forming particles has been developed, which is characterized by increased corrosion resistance due to the fractional ratio, which allows forming a structure with high water repellency.

Keywords: hydrophobicity; textured coating; contact angle; water-repellent coatings; corrosion.

Introduction. The use of textured surfaces to increase the ability to repel liquids by forming anomalous wetting states – Wenzel and Cassie and it is attracting attention as a promising approach to the formation of useful properties of materials: anti-icing, increased corrosion resistance, self-cleaning, etc. [1–4]. There are many research papers that investigate methods of creating texture on a surface among which laser engraving, electrochemical etching and sol gel fusion can be mentioned, however these technologies have a scaling problem as further increasing the area of the lining requires high equipment costs [5, 6]. An alternative is additive coatings that can be applied to the surface by pneumatic means and solve one of the main problems of this technology, namely its scalability [7]. At the same time, the surface structure of such materials can be flexibly adjusted by varying their fractional composition, which ultimately allows changing their degree of water repellency. The development of a relatively technological method to adjust the texture parameters of coatings obtained by classical pneumatic spraying technology by varying their component composition is a way to solve two essential problems of textured water repellent surfaces at the same time: scalability and cost [8–10]. In this work, the effectiveness of this method is evaluated by the indicators of one of the final target properties – corrosion resistance, which illustrates the practical potential of its application.

Task statement. The literature review revealed that there is a need for resistant coatings that can provide water-repellent properties when exposed to corrosive media. For this purpose, water-repellent coatings based on the principle of bifractional fillers of the micro- and nanoscale with a depleted polymer matrix composition are effective. In this work, the method of electron microscopy

was used to evaluate the structure of the texture, and wettability anomalies were determined using the equilibrium edge angle of water wetting. The stability of the water-repellent properties was evaluated during prolonged contact with liquid water and corrosive environments.

Purpose. The purpose of this work is to establish the relationship between the corrosion properties of additive coatings and the fractional composition of the components that form the texture.

Materials and methods of the research. To form textured surfaces were used two filler types – nanoscale and microscale. As a nanoscale filler, dimethyldichlorosilane treated silica (Aerosil R972, Evonik, Germany), referred to as “R972”. As microscale filler, a commercial grade filler for plastics was used, ground calcite (Normcal 2, Som Calcite, Turkey). The polymer matrix includes the AC80 styrene-butyl-methacrylate copolymer (OMNOVA Solutions, USA), referred to as “AC”.

To reduce surface energy, the calcite surface was treated with stearic acid according to the procedure [11]. The process was carried out in 1 wt. % ethanol solution. After conditioning 5 g of calcium carbonate in 30 ml of solution for 24 h, the liquid above the precipitate was decanted and the particulate was washed with pure ethanol and filtered on a paper filter. Obtained hydrophobized calcite referred as “CaCO₃”.

The coating substrates were mirror polished aluminum plates (commercial anodized 6063 aluminum alloy). The coatings were applied by pneumatic spraying of polymer-filler solutions in xylene (a mixture of para- and ortho-xylene). The ratio of xylene and other components was 4:1, respectively. The compositions of the created samples are given in the Table 1. After spraying, the coated plates were dried in an oven for 1 hour at 100 °C. Pure polished aluminum plate and polymer coated aluminum plate were used as reference.

Table 1

Sample compositions

Sample name	Aerosil R972, wt. %	Hydrophobized calcium carbonate (CaCO ₃), wt. %	Styrene-butyl-methacrylate copolymer (AC), wt. %
AL	-	-	-
AC	-	-	100
C3	13	78	9
C4	5	90	5
C5	35	42	23

The coated aluminum plates were insulated with epoxy resin. As a result, only one side of the surface was subjected to corrosion. The test samples were immersed in 3,0 wt. % NaCl solution in water. Electrochemical impedance spectroscopy and potentiodynamic polarization curves of the samples were measured using an electrochemical workstation BP-300 (Biologic, France). In the experiment, a three electrode system was used: the working electrode was the specimens with different corrosion time; the auxiliary electrode was a 4 cm² Pt sheet; the reference electrode was a saturated calomel electrode (SCE); the working temperature was room temperature (25 °C); all the potential values were relative to the potential of saturated calomel electrode; the electrolyte used in the experiment was 3,0 wt. % NaCl solution; the frequency range of electrochemical impedance spectroscopy (EIS) was 10~100 kHz; the amplitude of disturbance AC potential applied during the test was 10 mV; the scanning potential range of the potentiodynamic polarization curve was ±0,3 V vs. E_{corr} (relative to the self-corrosion potential); the scanning speed was 1 mV/s.

Water contact angles data was obtained by sessile drop technique using an optical microscope and a digital camera with a 10x objective. Scanning electron microscopy (Sigma 300, Zeiss) was used for to observe structural changes on the surface.

Research results. Considering that polymers, especially polar polymers, can absorb liquid water, their water repellent properties and long-term stability of coatings in wet or underwater conditions may deteriorate with time. The samples did not lose Cassie condition after exposure to salt

water for 32 hours (Table 2). The wetting angle of sample C5 (35% R972 + 42% CaCO₃ + 23% AC) started to increase after 4 hours of immersion in water. A possible reason for this is the self-repair of the structure after the surface layer was removed. Also, the results showed that sample C4 (5% R972 + 90% CaCO₃ + 5% AC) was the most stable.

Table 2

Surface characterization of the water resistance (water contact angles, deg.)

Sample	Composition	Duration of immersion in water, hours					
		0	1	2	4	8	32
C3	13% R972 + 78% CaCO ₃ + 9% AC	146°	146°	130°	138°	125°	122°
C4	5% R972 + 90% CaCO ₃ + 5% AC	146°	146°	141°	140°	136°	130°
C5	35% R972 + 42% CaCO ₃ + 23% AC	146°	120°	109°	100°	110°	124°

It can be assumed that after wetting with water, the adhesion of the polymer to the filler surface decreases and water can concentrate at the boundaries between the polymer and particles. This feature is most visible for sample C3, which can be confirmed by studying the structure of such coatings (Fig. 1). The photo shows that some particles have detached from the surface, forming well-defined cavities (Fig. 1 C3a and C5a).

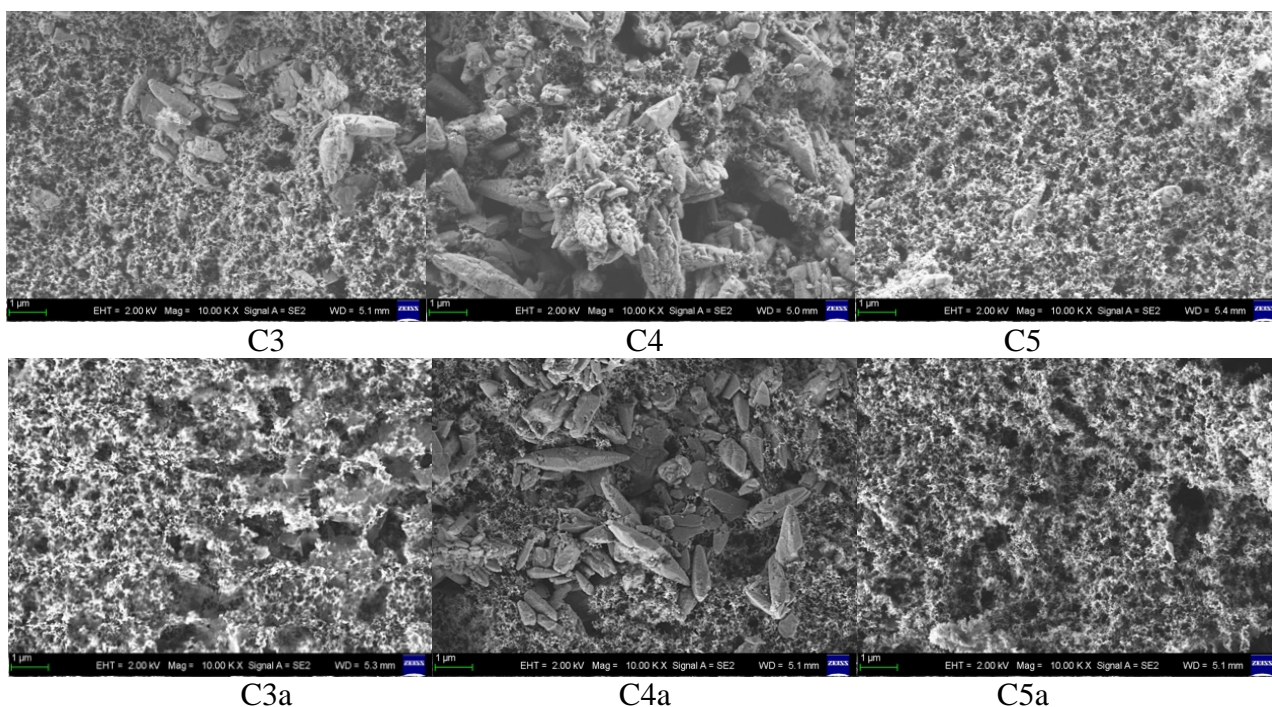


Fig. 1. SEM images of the sample surface before (C3-C5) and after (C3a-C5a) 32 hours of static water immersion

Figure 2 shows the polarization curves for samples C1-C5. Also, in table 2 are given self-corrosion potential of samples C1-C5. The polarization curves measure the corrosion rate of the surface of the samples. The lower the density of the self-corrosion current, the lower the corrosion rate, the more positive the self-corrosion potential, the less the corrosion tendency.

From the self-corrosion potential data (Table 3), it can be said that sample C4 has the strongest corrosion resistance. Sample C2 is more susceptible to corrosion than the pure aluminum plate (C1). The self-corrosion potential of sample C3 is close to that of sample C4, but it also has high corrosion resistance. The self-corrosion potential of sample C5 is close to that of pure aluminum, which may be due to the fact that water molecules easily penetrate the coating.

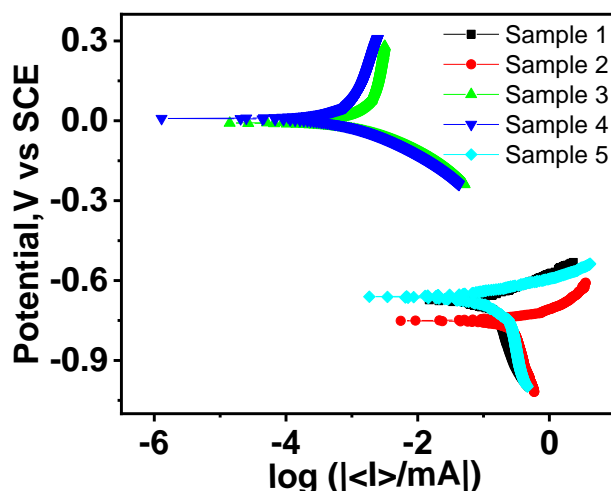


Fig. 2. Polarization curves of different electrodes, where: Sample 1 – polished aluminum plate; Sample 2 – AC coated aluminum plate; Sample 3 – 13% R972 + 78% CaCO₃ + 9% AC; Sample 4 – 5% R972 + 90% CaCO₃ + 5% AC; Sample 5 – 35% R972 + 42% CaCO₃ + 23% AC

Table 3

Surface characterization of the water resistance (water contact angles, deg.)

Sample	Composition	Self-corrosive potential, mV (SCE)
C1	-	-660
C2	100% AC	-720
C3	13% R972 + 78% CaCO ₃ + 9% AC	-6
C4	5% R972 + 90% CaCO ₃ + 5% AC	137
C5	35% R972 + 42% CaCO ₃ + 23% AC	-658

Figure 3 shows the results of the AC impedance spectra of the samples. Table 4 shows the modulus of high-frequency and low-frequency impedance of samples. The low-frequency modulus for sample C4 is much higher than that of other samples. This indicates that the corrosion resistance of the sample can be effectively improved by superhydrophobic modification. Sample C3 also exhibits high corrosion resistance. Sample C5 has properties close to the pure aluminum surface.

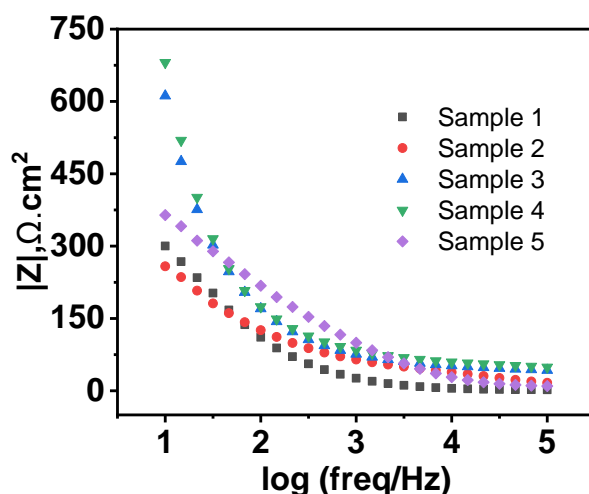


Fig. 3. Bode plots of the EIS results for different specimens, where: Sample 1 – polished aluminum plate; Sample 2 – AC coated aluminum plate; Sample 3 – 13% R972 + 78% CaCO₃ + 9% AC; Sample 4 – 5% R972 + 90% CaCO₃ + 5% AC; Sample 5 – 35% R972 + 42% CaCO₃ + 23% AC

Table 4

The modulus of high-frequency and low-frequency impedance of samples

Sample	Composition	High-frequency impedance modulus, $\Omega \cdot \text{cm}^2$	Low-frequency impedance modulus, $\Omega \cdot \text{cm}^2$
C1	-	2,149	300
C2	100% AC	16,59	258
C3	13% R972 + 78% CaCO ₃ + 9% AC	42,54	611
C4	5% R972 + 90% CaCO ₃ + 5% AC	49,06	680
C5	35% R972 + 42% CaCO ₃ + 23% AC	9,67	364

When comparing the wetting angle with water after 72 hours of immersion in a solution of 3,0 wt. % NaCl, the surface of sample C5 suffered the most severe corrosion (Table 5). It is followed by specimen C3, with specimen C4 having no obvious changes, indicating a significant improvement in the corrosion resistance of the specimens after hydrophobic treatment of the microfiller – calcium carbonate treated by stearic acid. The effect of increasing the wetting angle for sample C5, as was the case when immersed in distilled water, was not observed for NaCl solution.

Table 5

Water contact angles (deg.) of coatings after immersion in NaCl solution

Sample	Composition	Duration of immersion in 3,0 wt. % NaCl solution, hours			
		0	24	48	72
C3	13% R972 + 78% CaCO ₃ + 9% AC	146°	120°	125°	120°
C4	5% R972 + 90% CaCO ₃ + 5% AC	146°	135°	134°	134°
C5	35% R972 + 42% CaCO ₃ + 23% AC	146°	120°	104°	89°

Figure 4 shows the SEM images of the C3-C5 samples after 72 h of soaking in corrosion medium (3,0 wt. % NaCl solution). The photo shows that many holes and uneven branches appear on the surface, and some areas fall off, indicating partial erosion of the coating on the samples during the corrosion process.

According to Figure 1 (C5) and Figure 4 (C5a), the surface of the specimens before corrosion consists mainly of spherical particles, which are generally flat but with many cracks. Figure (C5c) shows NaCl particles on the coating surface, which means that the coating was most degraded after exposure to the corrosive environment for 72 h. By comparing the surface photo of the C3a and C4a specimens after the action of water and the surface photo of C3c and C4c after the action of the NaCl solution, it can be seen that the cracks and caverns increased after the action of the corrosive medium. However, salt crystals are not observed in these samples, as in the case of sample C5c.

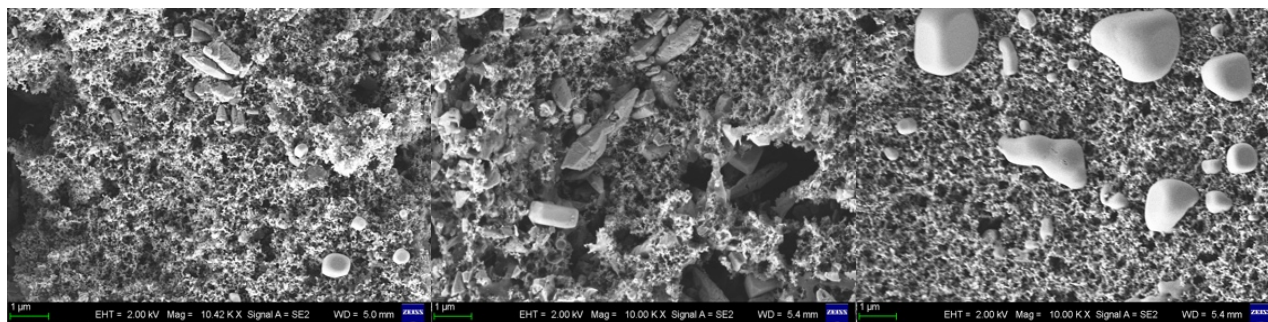


Fig. 4. SEM images of sample surfaces after corrosion C3c-C5c (immersion in 3,0 wt. % NaCl solution)

Conclusions. As a result, it is shown that coatings based on a styrene-butyl acrylate copolymer and two hydrophobic fillers nanosized silicon dioxide and microsized calcium carbonate are not resistant to prolonged residence in water. The main defects observed are cracking and an increase in surface polarity, which leads to a drop in wetting angle with water. Also, water reduces the adhesion of the polymer to the filler, further degrading the water repellent properties. The self-corrosion potential study showed that the most resistant specimen was the specimen with the highest amount of micro-sized filler and minimum polymer. For this sample, no loss of hydrophobic properties was also observed after prolonged immersion in the corrosive medium, although cracks were formed on the surface.

References

Література

1. Hooda, A., Goyat, M. S., Pandey, J. K., Kumar, A., Gupta, R. (2020). A review on Fundamentals, constraints and fabrication techniques of superhydrophobic coatings. *Progress in Organic Coatings*, 142, 105557. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105557>.
2. Murakami, D., Jinnai, H., Takahara, A. (2014). Wetting transition from the cassie–baxter state to the Wenzel State on textured polymer surfaces. *Langmuir*, 30(8), 2061–2067. <https://doi.org/10.1021/la4049067>.
3. Nsilani Kouediatouka, A., Ma, Q., Liu, Q., Mawignon, F. J., Rafique, F., Dong, G. (2022). Design methodology and application of surface texture: A Review. *Coatings*, 12(7), 1015. <https://doi.org/10.3390/coatings12071015>.
4. Milles, S., Soldara, M., Voisiat, B., Lasagni, A. F. (2019). Fabrication of superhydrophobic and ice-repellent surfaces on pure aluminium using single and multiscaled periodic textures. *Scientific Reports*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49615-x>.
5. Dongre, G., Rajurkar, A., Raut, R., Jangam, S. (2021). Preparation of super-hydrophobic textures by using Nanosecond Pulsed Laser. *Materials Today: Proceedings*, 42, 1145–1151. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.497>.
6. Ali, H. M., Qasim, M. A., Malik, S., Murtaza, G. (2018). Techniques for the fabrication of superhydrophobic surfaces and their heat transfer applications. *Heat Transfer – Models, Methods and Applications*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72820>.
7. Manoharan, K., Bhattacharya, S. (2019). Superhydrophobic surfaces review: Functional application, fabrication techniques and limitations. *Journal of Micromanufacturing*, 2(1), 59–78. <https://doi.org/10.1177/2516598419836345>.
8. Erbil, H. Y. (2020). Practical Applications of Superhydrophobic Materials and Coatings: Problems and Perspectives. *Langmuir*, 36(10), 2493–2509. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b03908>.
1. Hooda A. et al. A review on fundamentals, constraints and fabrication techniques of superhydrophobic coatings. *Progress in Organic Coatings*. 2020. Vol. 142. P. 105557. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105557>.
2. Murakami D., Jinnai H., Takahara A. Wetting Transition from the Cassie–Baxter State to the Wenzel State on Textured Polymer Surfaces. *Langmuir*. 2014. Vol. 30, No. 8. P. 2061–2067. <https://doi.org/10.1021/la4049067>
3. Nsilani Kouediatouka A. et al. Design Methodology and Application of Surface Texture: A Review. *Coatings*. 2022. Vol. 12, No. 7. P. 1015. <https://doi.org/10.3390/coatings12071015>.
4. Milles S. et al. Fabrication of superhydrophobic and ice-repellent surfaces on pure aluminium using single and multiscaled periodic textures. *Scientific Reports*. 2019. Vol. 9, No. 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49615-x>.
5. Dongre G. et al. Preparation of superhydrophobic textures by using nanosecond pulsed laser. *Materials Today: Proceedings*. 2021. Vol. 42. P. 1145–1151. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.12.497>.
6. Ali H. M. et al. Techniques for the fabrication of superhydrophobic surfaces and their heat transfer applications. *Heat Transfer – Models, Methods and Applications*. 2018. <https://doi.org/10.5772/intechopen.72820>.
7. Manoharan K., Bhattacharya S. Superhydrophobic surfaces review: Functional application, fabrication techniques and limitations. *Journal of Micromanufacturing*. 2019. Vol. 2, No. 1. P. 59–78. <https://doi.org/10.1177/2516598419836345>.
8. Erbil H. Y. Practical Applications of Superhydrophobic Materials and Coatings: Problems and Perspectives. *Langmuir*. 2020. Vol. 36, No. 10. P. 2493–2509. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.9b03908>.

9. Kausar, A. (2018). Polymer coating technology for high performance applications: Fundamentals and advances. *Journal of Macromolecular Science, Part A*, 55(5), 440–448. <https://doi.org/10.1080/10601325.2018.1453266>.

10. Lei, Y., Jiang, B., Liu, H., Zhang, F., An, Y., Zhang, Y., Yuan, Y., Xu, J., Li, X., Liu, T. (2023). Mechanically robust superhydrophobic polyurethane coating for anti-icing application. *Progress in Organic Coatings*, 183, 107795. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107795>.

11. Cao, Z., Daly, M., Clémence, L., Geever, L. M., Major, I., Higginbotham, C. L., Devine, D. M. (2016). Chemical surface modification of calcium carbonate particles with stearic acid using different treating methods. *Applied Surface Science*, 378, 320–329. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.205>.

9. Kausar A. Polymer coating technology for high performance applications: Fundamentals and advances. *Journal of Macromolecular Science, Part A*. 2018. Vol. 55, No. 5. P. 440–448. <https://doi.org/10.1080/10601325.2018.1453266>.

10. Lei Y. et al. Mechanically robust superhydrophobic polyurethane coating for anti-icing application. *Progress in Organic Coatings*. 2023. Vol. 183. P. 107795. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2023.107795>.

11. Cao Z. et al. Chemical surface modification of calcium carbonate particles with stearic acid using different treating methods. *Applied Surface Science*. 2016. Vol. 378. P. 320–329. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2016.03.205>.

YONG ZUO

PhD student, Department of Chemical Technology of Composite Materials, Chemical Technology Faculty, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5544-1159>
Scopus Author ID: 57897584700
E-mail: zuo.yong@iik.kpi.ua

BAKLAN DENYS

PhD student, Department of Chemical Technology of Composite Materials, Chemical Technology Faculty, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-6608-0117>
Scopus Author ID: 57194569043
Researcher ID: ABH-1251-2021
E-mail: d.baklan@kpi.ua

MYRONYUK OLEKSIY

PhD, Associate Professor,
Department of Chemical Technology of Composite Materials, Chemical Technology Faculty, Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-0499-9491>
Scopus Author ID: 57190497257
Researcher ID: I-8423-2017
E-mail: o.myronyuk@kpi.ua

ЮН Ц., БАКЛАН Д. В., МИРОНЮК О. В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Україна

**КОРОЗИЙНА СТІЙКІСТЬ ПОЛІМЕР-КРЕМНЕЗЕМ-КАЛЬЦИТОВИХ
ТЕКСТУРОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ**

Мета. Встановлення взаємозв'язку протикорозійних властивостей адитивних покриттів з фракційним складом формуючих текстуру компонентів.

Методика. У даній роботі адитивна біфракційна текстура створена на основі сополімеру стирол-бутил-акрилату як зв'язуючого та як текстуроутворюючі наповнювачі наночастинки гідрофобізованого кремнезему та мікрочастинки гідрофобізовано стеариновою кислотою карбонату кальцію. На підкладку покриття наносилися пневматичним способом. Для оцінювання корозійної стійкості зразки занурювалися у дистильовану воду та розчин солі. Для оцінювання зміни властивостей використано кут змочування водою (метод сидячої краплі), скануюча електронна мікроскопія для спостереження за структурними змінами на поверхні. Електрохімічна імпедансна спектроскопія та потенціодинамічні поляризаційні криві були використані для оцінки корозійного потенціалу.

Результати. В результаті показано, що отримані покриття не є повністю стійкими до тривалого перебування у воді. Основними дефектами є розтріскування і збільшення полярності поверхні. Це призводить до падіння кута змочування водою. Додаткове погіршення водовідштовхувальних властивостей пояснюється зменшенням адгезії полімеру до наповнювача. Згідно досліджень потенціалу самокорозії найбільш стійким виявився зразок з найбільшою кількістю мікророзмірного наповнювача і мінімальним вмістом полімеру. Для цього зразка також не спостерігалось втрати гідрофобних властивостей після тривалого занурення в корозійне середовище, хоча на поверхні утворилися тріщини.

Наукова новизна. Вперше показано, що для адитивних покриттів, одержаних пневматичним розпиленням, з ієрархічною структурою поверхні можливі суттєві зміни корозійної стійкості в залежності від фракційного співвідношення мікро- та нанорозмірних формуючих текстур частинок.

Практична значимість. Розроблено склад адитивного покриття на основі стирол-акрилового полімеру та структуроутворюючих частинок, яке характеризується підвищеною протикорозійною здатністю за рахунок співвідношення фракцій, що дозволяє сформувати структуру з високою стабільністю водовідштовхування.

Ключові слова: гідрофобність; текстуроване покриття; кут змочування; водовідштовхувальні покриття; корозія.

ЗАПРОШУЄМО ДО СПІВРОБІТНИЦТВА

Київський національний університет технології та дизайну з 19.04.2021 р. видає періодичне наукове видання «Технології та інжиніринг», яке є правонаступником видання «Вісник Київського національного університету технологій та дизайну», який у свою чергу був правонаступником видання «Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности», який видавався з березня 1958 року у Київському технологічному інституті легкої промисловості (СРСР).

Журнал «Технології та інжиніринг» – рецензований науковий журнал з відкритим доступом, призначений для публікації оригінальних, інноваційних, новітніх та високоякісних наукових статей з широким спектром охоплення проблем, пов'язаних з розвитком легкої промисловості та споріднених і суміжних галузей. До друку приймаються статті, які не були опубліковані раніше і не розглядаються в інших виданнях, а також мають принципове наукове, теоретичне та практичне значення та є результатом оригінальних наукових досліджень.

Тематична спрямованість журналу «Технології та інжиніринг»:

- **СЕКЦІЯ:** *ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЕЛЕКТРОНІКА, МЕХАНІЧНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА ІНЖЕНЕРІЯ.*
- **СЕКЦІЯ:** *МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО ІНДУСТРІЇ МОДИ, ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ТЕКСТИЛЮ, ОДЯГУ ТА ВЗУТТЯ.*
- **СЕКЦІЯ:** *ХІМІЧНІ ТА БІОФАРМАЦЕВТИЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ.*

Видання орієнтоване на науковців, викладачів, аспірантів, студентів, а також науково-практичних працівників і фахівців відповідних галузей промисловості.

Періодичність видання – 6 раз на рік. Журнал видається статті українською та англійською мовами, анотації – українською та англійською мовами. Матеріали, що надходять для публікації в журналі, проходять рецензування з боку членів редакційної колегії, розглядаються та рекомендуються Вченою радою Київського національного університету технології та дизайну до друку.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: 01011, м. Київ-11, вул. Мала Шияновська, 2,
корп. №1, кім. 1-0347, (044) 256-21-39

Статті приймаються на поштову скриньку: vistnuk@knu.edu.ua.

Банківські реквізити видання «Технології та інжиніринг» для перерахування оплати за публікацію наукової статті (вартість 1 стор. формату А4 коштує 65 грн, а 1 друкованого примірника 200 грн):

Одержувач: Київський національний університет технологій та дизайну

Код ЄДРПОУ отримувача: 02070890

Банк отримувача: ДКСУ у м. Києві

Код банку отримувача: 820172

Розрахунковий рахунок: **UA038201720313251003202003551**

Призначення платежу: П.І.Б. (автора (-ів) публікації) – Технічні науки.

ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖИНІРИНГ

Комп'ютерний набір та макетування

КРИВОНОС Олена

Технічний редактор

ПАНАСЮК Ігор

Відповідальний за поліграфічне виконання

ОВЕЧКІНА Лілія

Підп. до друку 28.02.2024. Формат 60×84 1/8.
Ум. друк. арк. 13,48. Облік. вид. арк. 10,54. Наклад 100 пр. Зам. 1993.

Видавець і виготовлювач Київський національний університет технологій та дизайну,
вул. Мала Шияновська, 2, м. Київ, 01011, Україна.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ №24822–14762 ПР від 19.04.2021р.

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 993 від 24.07.2002.

TECHNOLOGIES AND ENGINEERING

Computer Typesetting & Modeling

KRYVONOS Olena

Technical Editor

PANASIUK Ihor

Responsible for printing

OVECHKINA Liliia

Printing proof 28.02.2024. Format 60×84 1/8.
Conditional sheet 13.48. Calculated sheet 10.54. Circulation 100 copies. Order N 1993.

KNUTD Instant Printing Department.
Mala Shyianovska Street, 2, Kyiv, 01011, Ukraine.

Certificate KB №24822–14762 ПР від 19.04.2021 р.

Certificate ДК № 993, 24.07.2002.